



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA DRŽÁKU NÁBYTKOVÉHO KOLEČKA

MANUFACTURING OF CASTOR HOLDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Juraj Moravčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Juraj Moravčík**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba držáku nábytkového kolečka

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby držáku z ocelového pozinkovaného plechu, který slouží k uchycení pojezdového kolečka u nábytku. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost držáku,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Moravčík Juraj: Výroba držiaku nábytkového kolieska.

Práca rieši návrh technológie výroby držiaku nábytkového kolieska z oceleového plechu 11 321 o hrúbke 2 mm. Na základe variantného riešenia strihu a ohybu bolo zvolené riešenie výroby v postupovom združenom nástroji. Ako polotovar bol zvolený pás plechu zo zvitku šírky 64,1 mm. Po zhodnotení technologickosti boli upravené vzdialenosti otvorov od okraja dielu a ohybu a prostredníctvom technologických výpočtov určené potrebné sily, práce a ďalšie parametre. Ako vhodný stroj bol zvolený výstredníkový lis S 160 E značky Šmeral. Navrhnutý nástroj pracuje v šiestich krokoch a nachádza sa v ňom deväť strižných a jedna ohýbacia časť spolu s dvomi hľadákmi a jedným pružinovým pridržiavačom. Ekonomické zhodnotenie ukázalo ziskovú výrobu zadanej série hodnotou 999 310,61 Kč a bodom zvratu nastávajúcim po výrobe 58 382 kusov.

Kľúčové slová: Oceľ 11 321, strihanie, ohýbanie, združený nástroj, lis S 160 E

ABSTRACT

Moravčík Juraj: Manufacturing of castor holder.

The thesis solves the design of the technology of manufacturing the furniture wheel holder from a sheet thickness of 11 321 with a thickness of 2 mm. On the basis of the variant cutting and bending solution, a production solution was chosen in a process progressive die. As a blank, a sheet metal strip is selected from a 64.1 mm roll. After the technology evaluation, the distances of the openings from the edge of the part and the bend were adjusted and the technological calculations determined the necessary total forces, work and other parameters. On the basis of the previous calculations, the S 160 E eccentric press of Šmeral was chosen as the most suitable machine. The designed tool works in six steps and includes nine cutting and one bending section together with two viewers and one spring retainer. Economic recovery has shown profitable production of the given series where the total profit is CZK 999 310,61 and the reversal point occurs after production 58 382 pieces.

Keywords: 11 321 steel, cutting, bending, progressive die, S 160 E press,

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Moravčík, Juraj. *Výroba držáku nábytkového kolečka*. Brno, 2018. 59s, 4 výkresy, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že predkladanú diplomovú prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácii a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa 24.5.2018

.....

Podpis

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi Ing. Kamilovi Podanému, PhD. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní tejto bakalárskej práce. Ďalej by som rád poďakoval rodine za podporu počas štúdia.

OBSAH

Zadanie

Abstrakt

Bibliografická citácia

Čestné prehlásenie

PodĎakovanie

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADANIA	10
1.1 Výrobné možnosti.....	11
2 TECHNOLÓGIA STRIHANIA A OHÝBANIA	13
2.1 Technológia strihania.....	13
2.1.1 Strižná plocha a vôľa.....	15
2.1.2 Nástrihový plán a odpadovosť	17
2.2 Technológia ohýbania	18
2.2.1 Určenie polohy neutrálnej osi a dĺžky rozvinu	20
2.2.2 Minimálny a maximálny polomer ohybu	21
2.2.3 Odpruženie	22
2.3 Sila a práca	23
2.4 Nástroje	26
2.4.1 Strižníky a strižnice.....	28
2.4.2 Ohybníky a ohybnice	30
2.5 Stroje.....	31
2.6 Technologičnosť strihu a ohybu.....	32
3 NÁVRH TECHNOLÓGIE VÝROBY	35
3.1 Rozvinutý tvar dielu	36
3.2 Voľba rozmiestnenia výstrižkov	37
3.3 Voľba postupu výroby	38
3.5 Voľba polotovaru [39]	40
3.6 Výpočet potrebnej tvárniacej sily a práce.....	42
3.6.1 Kontrola funkčných častí nástroja.....	44
3.7 Určenie rozmerov funkčných častí nástroja	45
3.8 Pôsobisko strižných síl a umiestnenie stopky.....	49
3.9 Voľba tvárniaceho stroja	50
3.10 Popis a funkcie nástroja.....	51
4 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	55
5 ZÁVERY	59

Zoznam použitých zdrojov

Zoznam použitých symbolov a skratiek

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek

Zoznam príloh

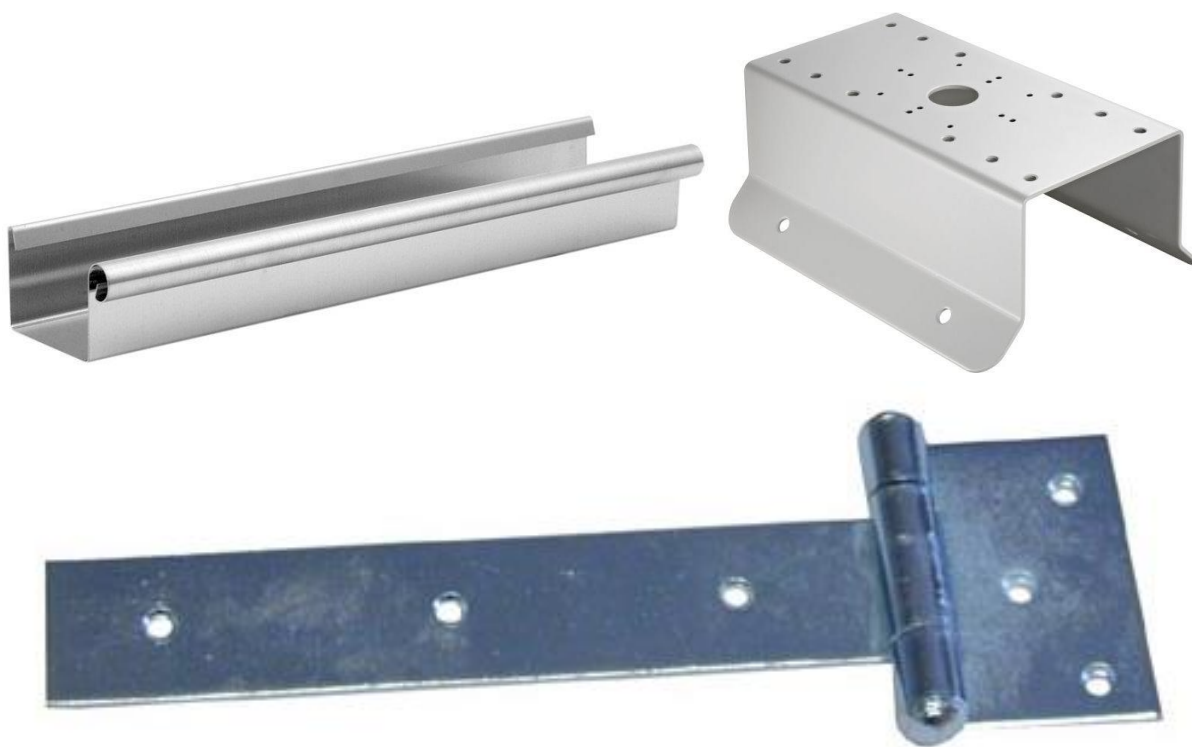
Zoznam výkresov

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Medzi základné technológie výroby patrí tvárnenie, obrábanie, zváranie a odlievanie. Jedinou metódou z týchto štyroch, pri ktorej nedochádza k odberu alebo k dodávaniu materiálu, je tvárnenie, kde sa pracuje len s objemom tovaru, ktorý do procesu vstupuje vo forme nakupovaného polotovaru. Veľkou výhodou tvárnenia je fakt, že pri zmene tvaru nedochádza k porušeniu vlákien materiálu, čo má za následok lepšie pevnostné charakteristiky vyrábaného dielu. Tvárnenie je možné deliť podľa teploty materiálu pri procese na tvárnenie za studena, polohrevu a za tepla, pričom tieto teploty sa využívajú kvôli lokálnemu poklesu pretvárneho odporu a vedú k zníženiu náročnosti výroby z pohľadu potrebnej pretvárnej sily. Ďalej je možné deliť tvárnenie na objemové a plošné.

Strih alebo ohyb sú typické plošné technológie, ktoré sú v rôznych formách využívané pri veľkej časti vyrábaných dielov. Ich spoločnou výhodou je ich relatívna jednoduchosť a dnes aj dostupnosť vhodných strojov a nástrojov.

Pri správne zvolenom postupe výroby tak, aby boli využité všetky výhody týchto technológií a eliminované ich nevýhody, je plošné tvárnenie za studena metóda vhodná pre široké spektrum výrobkov. Medzi najväčšie výrobky patria napríklad časti lietadiel, ale omnoho častejšie rôzne doplnky ako kryty spotrebičov, pánty alebo rôzne profily, ktoré sú znázornené na obr. 1.



Obr. 1 Príklady dielov vyrábaných plošným tvárnením za studena [4], [5], [6]

1 ROZBOR ZADANIA [7], [8], [9], [10], [11] , [12]

Súčiastka, ktorej technológia výroby bude navrhnutá a popísaná v tejto práci je držiak nábytkového kolieska, ktorý sa bežne používa napríklad ako pojazd posteľných zásuviek, ako ukazuje obr. 2, alebo nočných stolíkov. Aj keď je väčšinou tento diel pred pohľadom skrytý, v niektorých prípadoch, napríklad pri vytiahnutí police, je viditeľný a nesmú byť na ňom pozorovateľné vady. Držiak (obr. 3) má hrúbku stien 2 mm a sú v ňom štyri otvory, pričom dva stredné priemeru 3,6 mm slúžia na uchytenie držiaku na nábytok a dva bočné priemeru 4,1 mm na uloženie kolieska pomocou nitu.

Na držiak nie sú kladené žiadne vyššie rozmerové alebo geometrické presnosti okrem otvorov nesúcich nit, ktoré by mali spĺňať normu ISO 2768-m a ich súosovosťou má odpovedať minimálne stupňu IT 10. Hodnota drsnosti povrchu by mala byť maximálne Ra 6,3 tak, aby nedochádzalo k poškodeniu nábytku, na ktorom bude držiak pripevnený.

Keďže je diel pohľadový, je nutné zabezpečiť stálosť jeho vzhľadu. Túto stálosť je možné dosiahnuť voľbou vhodného materiálu výrobku alebo využitím povrchovej úpravy. Aby bolo zaručené správne naniesenie prípadnej povrchovej úpravy a predĺžená jej trvácnosť čo najviac, je nutné, aby bol diel na všetkých plochách bez veľkých ostrín. Toto opatrenie bude ďalej priaznivo vplývať na celkový vzhľad výrobku, nebude spôsobovať problémy s nanášaním povrchovej vrstvy alebo zbytočne skracovať jej životnosť.

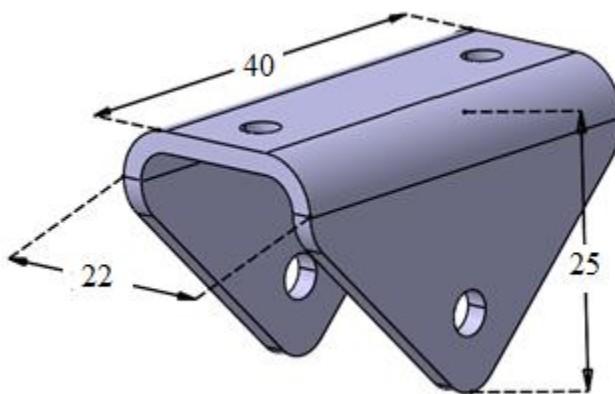
Držiak by mal byť vyrábaný v sérii 300 000 kusov ročne, preto je dôležité zabezpečiť lacný a dostupný materiál. Namáhanie nebude veľké, takže mechanické vlastnosti nemusia byť neštandardne vysoké, ale je vyžadovaná stálosť vzhľadu. Zmenu povrchu môžu spôsobiť atmosférické vplyvy, alebo napríklad vyliata voda v okolí držiaku.

S prihliadnutím na vyššie spomenuté požiadavky, je možné uvažovať o oceliach triedy 10, ktoré sú určené pre hromadnú výrobu a spĺňajú teda podmienky dostupnosti a nízkej ceny. Nevýhodou je ale nezaručené chemické zloženie, hlavne nepredpísané hodnoty síry, kremíka a fosforu. Pretože ocele triedy 10 nie sú samy o sebe odolné voči korózii, je túto vlastnosť nutné zabezpečiť buď pozinkovaním, alebo nanosením náteru. Pri pozinkovaní hrozí zlé vytvorenie vrstvy vplyvom zvýšeného obsahu vyššie uvedených prvkov, preto tieto materiály nie sú vhodné na povrchovú úpravu týmto spôsobom.

Zvolenie nehrdzavejúcej austenitickej alebo lacnejšej feritickej ocele by vyriešilo problém s korozivzdornosťou a teda ďalšia povrchová úprava by bola zbytočná. Austenitická štruktúra zabezpečuje vhodnosť pre tvárnenie za studena pri zachovaní priaznivých mechanických



Obr. 2 Príklad použitia nábytkového kolieska [12]



Obr. 3 Držiak nábytkového kolieska

vlastností. Všetky výhody ale prevažuje vysoká cena materiálu, ktorá je niekoľkonásobne vyššia ako u bežných materiálov.

V porovnaní s predchádzajúcimi materiálmi je ako prijateľný kompromis možné považovať ocele triedy 11. Podobne ako trieda 10 sú dobre dostupné pri priaznivej cene, rozdielom je ale zaručené chemické zloženie. Ďalej sú zaručené základné mechanické vlastnosti ako ťažnosť alebo medza klzu a pevnosti. Korozivzdornosť samotnej ocele nie je svojím chemickým zložením zaručená, preto je nutné zaradiť do výrobného postupu vhodné povlakovanie alebo lakovanie.

Z rozvahy vyplynulo, že najvhodnejší materiál pre zadaný držiak bude z triedy 11, konkrétne oceľ 11 321. Zvolený materiál je konštrukčná nelegovaná oceľ s predpísanými mechanickými vlastnosťami, napríklad najväčšou medzou klzu, pevnosťou v ťahu, najnižšou ťažnosťou naprieč a maximálnym obsahom uhlíku, síry, mangánu a fosforu. Obyčajne je materiál dodávaný v tvare plechov, tyčí, trubiek alebo rôznych profilov a je vhodný na stredné ťahanie, tvárnenie za studena, lakovanie, pretláčanie, pokovovanie a v neupokojenom stave na smaltovanie. Keďže materiál nie je sám odolný korózii, bude táto požiadavka dosiahnutá pomocou odstredivého žiarového zinkovania, ktoré je vhodné pre zvolený materiál a rozmery dielu. Zvárateľnosť je podmienená v závislosti od hrúbky. Mechanické vlastnosti a chemické zloženie sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Chemické zloženie a mechanické vlastnosti ocele 11 321 [11]

Materiál	Oceľ 11 321	
Chemické zloženie	Obsah uhlíku C max. [%]	0,1
	Obsah mangánu Mn max. [%]	0,45
	Obsah fosforu P max. [%]	0,03
	Obsah síry S max. [%]	0,03
Mechanické vlastnosti	Medza klzu Re max. [MPa]	235
	Pevnosť v ťahu Rm [MPa]	280 až 380
	Ťažnosť A ₈₀ min. [%]	29

1.1 Výrobné možnosti [2], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

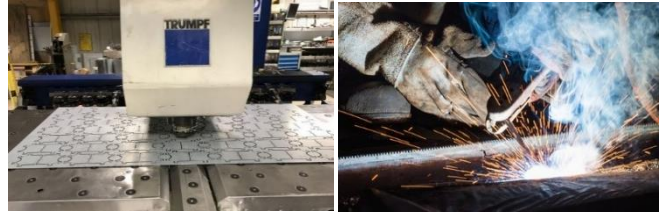
Držiak je možné vyrobiť rôznymi spôsobmi, pričom je nutné posúdiť výhody a naopak nevýhody jednotlivých návrhov z hľadiska náročnosti, ekonomiky a celkovej praktickosti. Medzi uvažované riešenia patria:

- Odliatie – predstavuje jednu zo základných výrobných metód, pri ktorej výsledný tvar vzniká naliatím roztaveného kovu (obr. 4) a jeho stuhnutím vo forme. Z materiálového hľadiska je táto metóda prakticky nereálna, keďže zvolená oceľ nie je určená k odlievaniu a z konštrukčnej stránky je zvolená hrúbka steny veľmi malá. Pre dosiahnutie požadovaných rozmerových a geometrických presností a drsností by bolo nutné ďalšie spracovanie po samotnom odliatí, ako napríklad vyvrtanie dier alebo brúsenie povrchu. Pri zadanej sériovosti, je táto metóda nereálna pre svoju zložitosť a nízku efektívnosť.



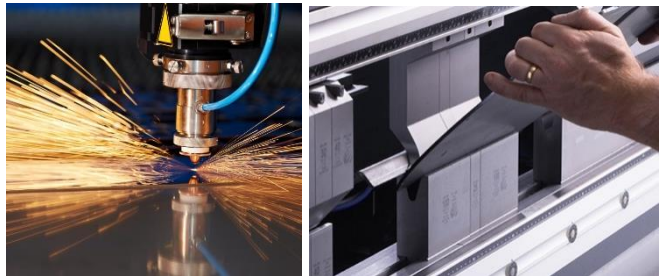
Obr. 4 Príklad odlievania do pevnej formy [13]

- Nekonenčné delenie a zvarovanie – príprava dielov, ktoré budú neskôr zvarované, môže prebiehať dnes rozšírenými nekonvenčnými metódami delenia, napríklad s využitím vysekávacieho lisu. Pri vysekávaní dochádza k oddeleniu materiálu vzájomnou interakciou nástroja s plechom, pričom dochádza k vzniku a šíreniu trhlín, a oddeleniu materiálu. Pripravené polotovary môžu byť ďalej spojené technológiou zvarovania (obr. 5), ktorá predstavuje vytvorenie pevného a nerozoberateľného spoja pôsobením tepla. Vnesené teplo predstavuje u malých dielov problém, pretože spôsobuje vznik deformácií, s ktorými je zložitá dosiahnutie zadanej presnosti. Pre dodržanie požadovanej drsnosti a zabráneniu vzniku nežiadúcich stôp pri zinkovaní, je nutné zvary zabrusiť, čo by zvyšovalo výrobný čas. Zamedzenie vzniku spomenutých väd je pri zadanej sériovosti časovo náročné a zložitá.



Obr. 5 Vysekávanie a oblúkové zvarovanie [14], [15]

- Nekonenčné delenie a ohýbanie – rozvinutý tvar držiaku je možné spolu s otvormi vytvoriť laserovým rezaním (obr. 6), koncentrované pôsobenie tepla spôsobuje oddelenie materiálu. Následne je možné pomocou ohraňovacieho lisu alebo ohýbačky vytvoriť požadovaný tvar. Pokiaľ je ohýbaný diel navrhnutý správne, je táto metóda dostatočne presná, problém ale nastáva pri uvažovanej sériovosti. Nutný presun medzi deliacim a ohýbacím zariadením by spôsoboval veľké zvýšenie potrebného výrobného času. Toto je síce možné vyriešiť robotizáciou pracoviska, čo ale zvyšuje vstupné náklady.



Obr. 6 Laserové rezanie a ohraňovanie [16], [17]

- Strihanie a ohýbanie v nástroji (obr. 7) – k výrobe otvorov a obrysu polotovaru dochádza vzájomným pôsobením nástroja s plechom, pričom takto pripravený polovar je ďalej ohnutý do požadovaného tvaru. Dosiahnutie zadanej presnosti, drsnosti a sériovosti nepredstavuje pri tomto spôsobe žiadnu komplikáciu, ale podobne ako u predchádzajúceho prípadu je nutné vyriešiť manipuláciu medzi operáciami.



Obr. 7 Ohýbací a strižný nástroj [18], [19]

Pri porovnaní jednotlivých možností a zadaných požiadaviek vychádza ako najvhodnejšia možnosť strihu a ohybu v nástroji. Problém s medzioperačnou manipuláciou je možné vyriešiť spojením oboch nástrojov do jedného celku, teda tzv. konštrukciou postupového združeného nástroja. Pri takomto riešení nie je nutné presúvať výrobky medzi operáciami, a diel je v jednotlivých krokoch vyrobený priamo z pásu plechu. Nevýhodou predstavuje zložitejšia konštrukcia nástroja. Na túto problematiku bude ďalej zameraná teoretická a praktická časť tejto práce.

2 TECHNOLOGIA STRIHANIA A OHÝBANIA [2], [3], [20]

Pokiaľ je tvárniaci nástroj konštruovaný ako postupový združený (obr. 8), jedná sa o riešenie, kde sa všeobecne používa ako polotovar pás, vystrihnutý z plechu alebo zvitku, a pri jednom hlavnom pohybe sú vykonané aspoň dve operácie s využitím viacerých technológií, napríklad strihu a ohybu. Pre správne navrhnutie konštrukcie samotného nástroja je dôležité poznať viacero faktorov, ako vlastnosti použitých nástrojových materiálov, spracovávaného materiálu, ale hlavne výhody a nevýhody jednotlivých technológií a patrične ich využiť, respektíve sa im vyvarovať. Pokiaľ je výrobný proces navrhnutý správne, je možné vyrábať veľké množstvá dielov pri nízkej kusovej cene.



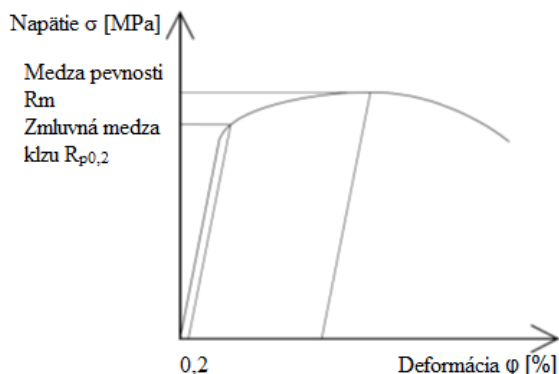
Obr. 8 Postupový združený nástroj [20]

2.1 Technológia strihania [1], [2], [3], [21], [22], [23]

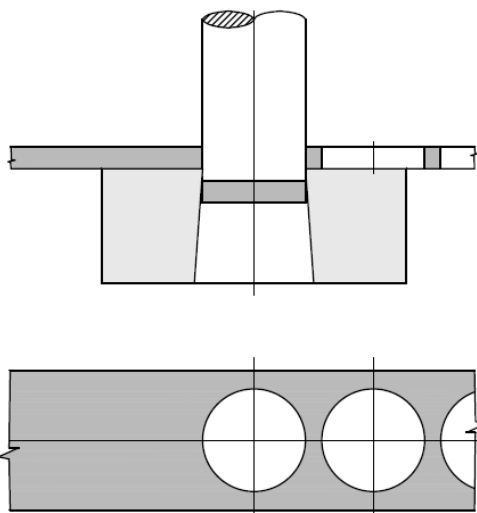
Pri vzájomnom pôsobení dvoch častí nástroja, strižníka a strižnice, dochádza k prekročeniu medze klzu a pevnosti (obr. 9), vďaka čomu vzniká a naprieč materiálom sa šíri trhlina, ktorá vytvára požadovaný otvor (obr. 10).

Pre správne určenie optimálnych podmienok strihu je nutné poznať všetky jednotlivé fázy procesu (obr. 11), ktoré nasledujú po dosadnutí strižníku:

- Prvá fáza – nedochádza k prekročeniu medze klzu a polotovar je zatiaľ deformovaný len elasticky. Hĺbka ponorenia označovaná " h_{el} " je závislá od mechanických vlastností materiálu a zvyčajne sa pohybuje medzi 5 až 8 % hrúbky polotovaru " s ". Silové pôsobenie medzi strižníkom priemeru " D " a strižnicou " d " je vďaka ich jednostrannému rozmerovému rozdielu " z " sprevádzané vznikom silových dvojíc v rovinách kolmých na strižnú plochu, ktoré spôsobujú vznik zaoblenia strižnej hrany na hornej aj dolnej strane.
- Druhá fáza – začína v momente prechodu deformácie z elastického stavu do plastického a končí vznikom porušenia materiálu. Napätie sa teda pohybuje v intervale od medze klzu po medzu pevnosti. Hĺbka vniku strižníka do materiálu označovaná " h_{pl} " je opäť



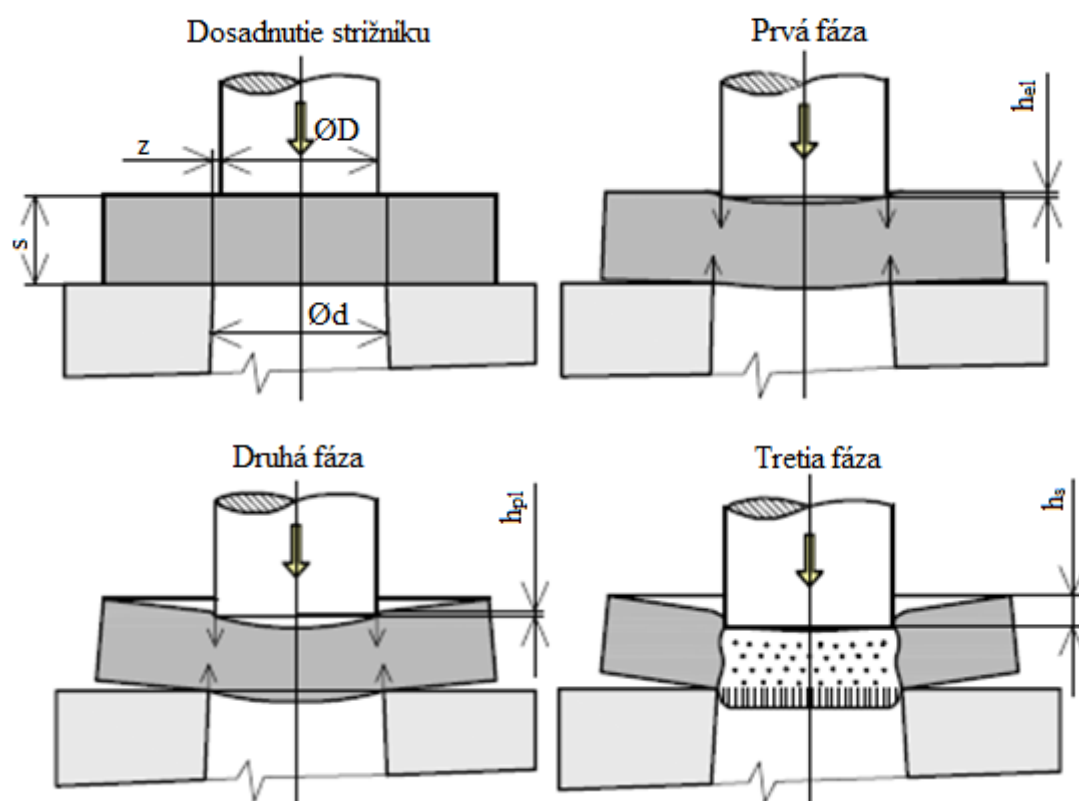
Obr. 9 Ťahový diagram s nevýraznou medzou klzu



Obr. 10 Schéma dierovania [22]

závislá od mechanických vlastností materiálu, ale všeobecne sa rovná 10 až 25 % hrúbky polotovaru.

- Tretia fáza – trhliny sa rýchlo šíria materiálom rýchlosťou, ktorá je závislá na mechanických vlastnostiach strihaného materiálu, veľkosti strižnej vôle "v", a blíži sa rýchlosti zvuku. Veľkosť ponorenia strižníka v okamihu oddelenia výstrižku od polotovaru je označovaná " h_s " a táto hodnota je pri tvrdých a krehkých materiáloch rovná približne 10 % hrúbky polotovaru. U húževnatých a mäkkých materiálov je to až 33 % hrúbky, teda vznik a šírenie trhlín v takýchto materiáloch je pomalšie.

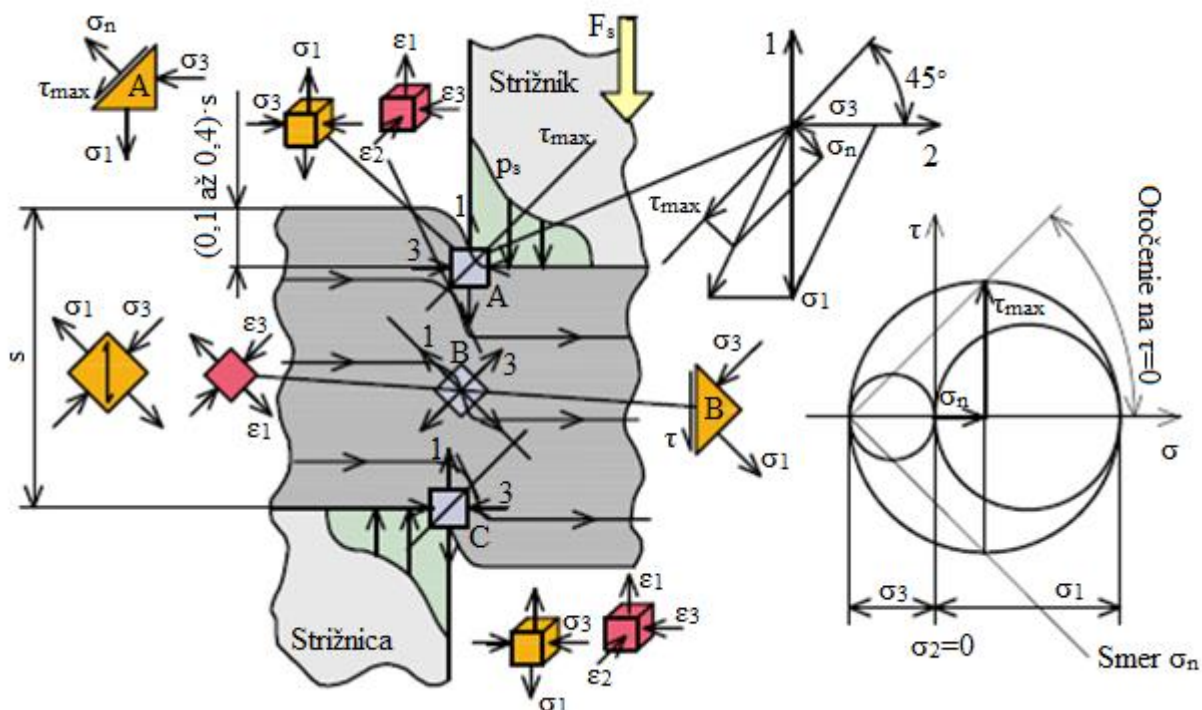


Obr. 11 Jednotlivé fázy strihu [23]

V ideálnom prípade sa trhliny v momente strihu stretnú približne v polovici hrúbky polotovaru a výsledná plocha je primerane kvalitná. Výstrižok je ďalej vytlačený a strižníkom cez strižnicu odvedený mimo pracovný priestor.

Stavy napätosti a deformácie sú pri strihaní vyjadrené mechanickými schémami deformácie (obr. 12), ktoré udávajú stav pretvorenia v závislosti na pôsobiacom vonkajšom zaťažení. V bode A, ktorý sa nachádza na hrane strižníka a strihaného materiálu, vzniká nerovnorodá priestorová napätosť s dvoma hlavnými tlakovými napätiami a jedným ťahovým rovnako ako aj príslušná deformácia. Veľkosť hlavného ťahového napätia σ_1 dosahuje hodnoty pevnosti materiálu v strihu " τ_s " a veľkosť hlavného tlakového napätia σ_3 je experimentálne určená ako polovica napätia σ_1 . Výskum napätí na hrane nástroja dokázal, že v okamihu lomu je hlavné napätie $\sigma_2 = 0$ a je možné uvažovať približne rovinný stav napätosti. Z Mohrových kružníc a vektorového súčtu v bode A je vidno, že kolmo na rovinu maximálnych šmykových napätí τ_{\max} pôsobí kladné normálové napätie σ_n , ktoré pri prebiehajúcom strihu pomáha otvárať trhlinu. Vplyvom zmeny orientácie krivosti vrstevníc plechu smerom kolmo na rovinu plechu dochádza aj k zmene natočenia roviny τ_{\max} a mení sa aj pomer napätí σ_1 a σ_3 tak, že

v bode B je $\sigma_1 = \sigma_3$ a je splnená podmienka jednoduchého šmyku a $\sigma_2 = 0$. V bode C vzniká nerovnorodá priestorová napätosť a deformácie rovnako ako v bode A.

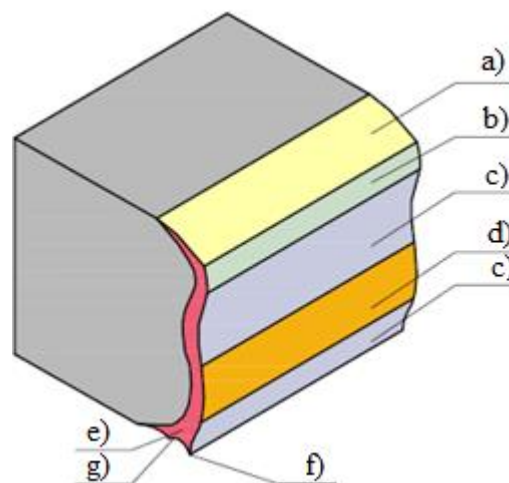


Obr. 12 Schéma napätosti a deformácie pri bežnom uzavretom strihu [21]

2.1.1 Strižná plocha a vôľ'a [1], [2], [21], [22], [24], [26]

Kvalita strižnej plochy je ovplyvnená viacerými činiteľmi ako tvar vyrábaného dielu, stav nástroja a stroja, nastavenie strižnej vôľe a hlavne mechanické vlastnosti strihaného materiálu. U tvrdých materiálov dochádza k menšiemu ponoreniu strižníka do materiálu, čo má za následok menšiu časť strižnej plochy, ktorú ešte ovplyvňuje strižník. Strižná plocha (obr. 13) vzniká tvorbou a šírením trhlín a pri prechode nástroja polotovarom vzniká sedem oblastí strižnej plochy:

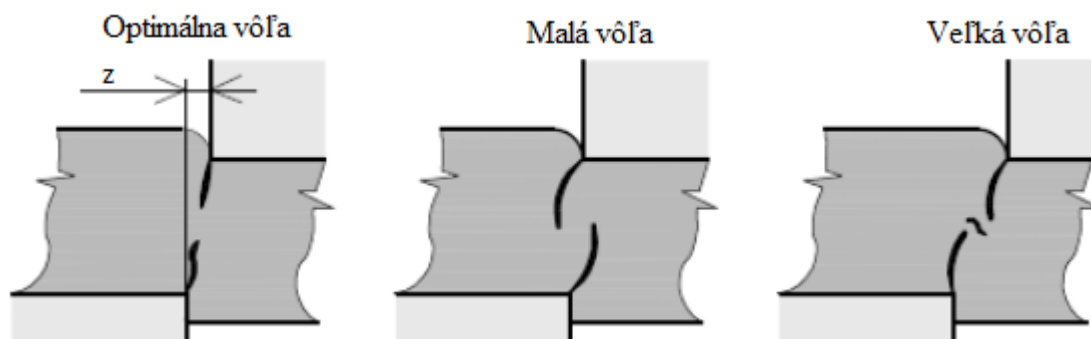
- zoslabilenie hrúbky materiálu – nástroj vniká do materiálu, ktorý je elasticky deformovaný a pechuje sa pod nástrojom, čím sa vytvára zaoblený kraj strižnej plochy,
- plastický strihu – najkvalitnejšia časť strižnej plochy, kde vzniká plastická deformácia,
- lom – tvorí približne 80 % hrúbky polotovaru a slúži k určovaniu kvality strižnej plochy,
- oter – vzniká pretláčaním materiálu strižníkom cez strižnicu a nachádza sa medzi dvoma oblasťami lomu,
- spevnenie – nachádza sa v oblasti za strižnou plochou smerom do materiálu, kde je jej veľkosť približne 20 až 30 % hrúbky polotovaru. Vzniká vplyvom pôsobiaceho zaťaženia a vyčerpania plasticity materiálu



Obr. 13 Strižná plocha a jej oblasti [1]

- a môže komplikovať ďalšie spracovanie výrobku,
- f) otrep – vzniká utrhnutím materiálu na strane strižnice a jeho veľkosť je závislá od tvárnosti materiálu a kvalite britu nástroja,
- g) otláčenie – spôsobené zatláčaním materiálu strižníkom proti strižnici.

Ako bolo spomenuté, kvalitu strižnej plochy ovplyvňuje strižná vôľa "v", ktorú je možné vyjadriť ako dvojnásobok jednostranného rozmerového rozdielu medzi strižníkom a strižnicou, nazývaného strižná medzera "z". Okrem kvality strižnej plochy veľkosť vôle ovplyvňuje napríklad životnosť nástroja, hlučnosť procesu, spotrebu energie a je preto dôležité, aby bola zvolená správne. Pri správnom určení veľkosti vôle (obr. 14) dochádza pri strihu k vzniku trhlín, ktoré sa ideálne svojimi čelami spoja a vzniká kvalitná strižná plocha, pokiaľ je ale vôľa veľmi malá (negatívna) alebo veľká (pozitívna), pred vznikom hlavných trhlín vznikajú sekundárne trhliny, ktoré majú za následok zníženie kvality.



Obr. 14 Vznik trhlín pri správne a nesprávne zvolenej strižnej vôli [22]

Veľkosť strižnej vôle je závislá od mechanických vlastností materiálu polotovaru, jeho hrúbke a pre zvolenú hrúbku polotovaru 2 mm je možné použiť vzorec:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c_s \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

kde: v – strižná vôľa [mm]

z – strižná medzera [mm]

c_s – súčiniteľ strižnej vôle, volí sa v interval 0,005 až 0,35 [-]

s – hrúbka polotovaru [mm]

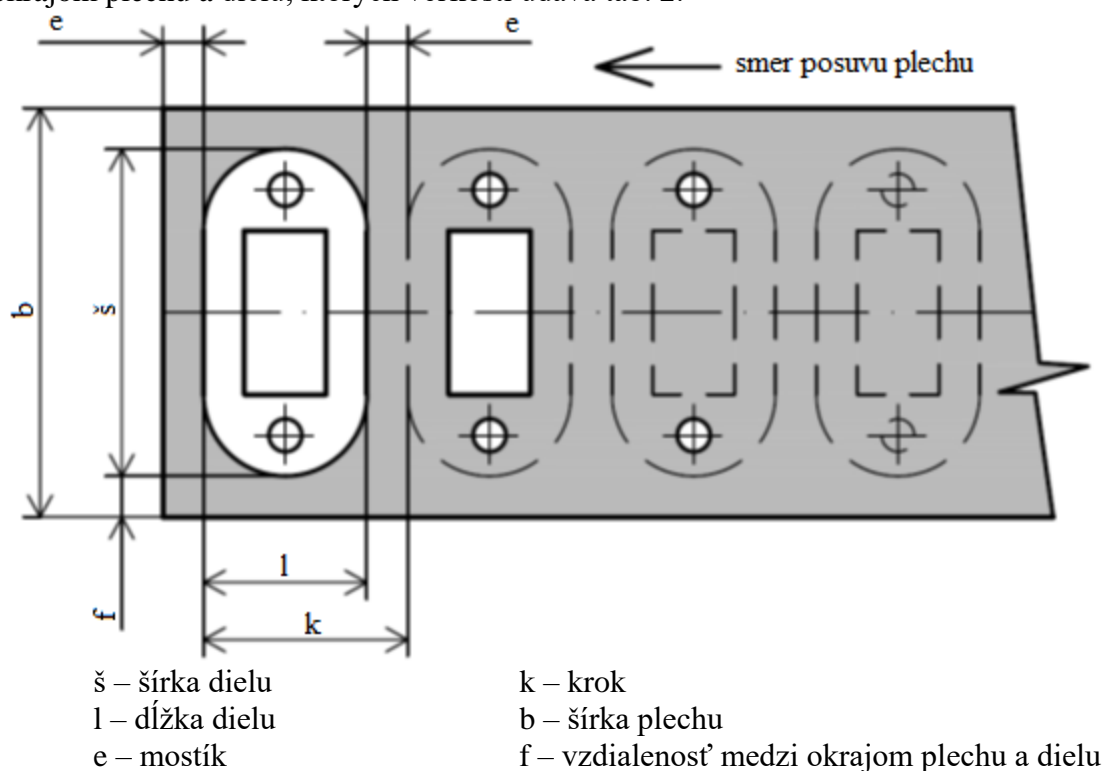
τ_s – strižný odpor, $0,8 \cdot R_m$ [MPa]

R_m – medza pevnosti v ťahu [MPa]

Rýchlosť vzniku a šírenia trhlín závisí od mechanických vlastností materiálu polotovaru a veľkosti strižnej vôle. Teda u tvrdých materiálov so správne nastavenými parametrami strihu dochádza k vzniku a šíreniu trhlín rýchlejšie ako u mäkkých.

2.1.2 Nástrihový plán a odpadovosť [1], [2], [25], [27]

Pri uvažovanom spôsobe výroby predstavuje nástrihový plán (obr. 15) jednoduché zobrazenie postupu spracovania polotovaru v jednotlivých krokoch spolu so základnými rozmermi dielu. Ďalej sú v nástrihovom pláne zakótované hodnoty ako mostíky a vzdialenosti medzi okrajom plechu a dielom, ktorých veľkosti udáva tab. 2.



Obr. 15 Nástrihový plán [27]

Tab. 2 Stanovenie rozmerov mostíkov a medzier na okraji polotovaru [27]

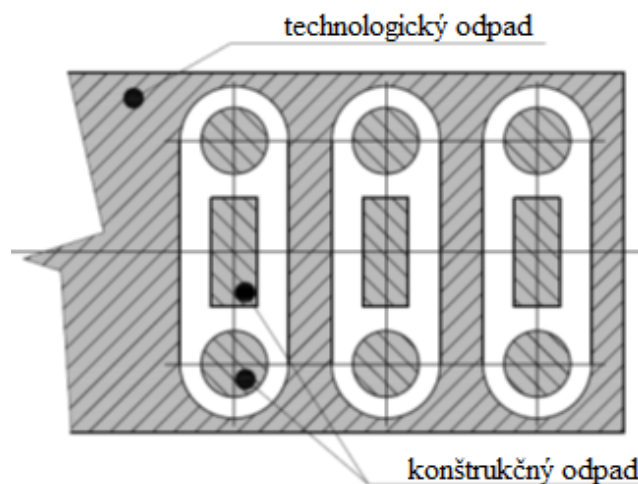
Hrúbka materiálu [mm]	Kruhové otvory						Štvorcové otvory					
	Šírka pásu [mm]						Šírka pásu [mm]					
	do 15		15 až 50		50 až 100		do 15		15 až 50		50 až 100	
	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4

Už pri plánovaní výroby je vhodné mať vypracované plány pre rôzne varianty výroby, kde je dopredu možné určiť, ktorá možnosť bude najvhodnejšia. Pre čo najekonomickejšiu výrobu je možné rôzne ukladanie výrobkov na polotovár, napríklad jednoradovo priamo (obr. 16a), striedavo (obr. 16b), šikmo, dvojradovo striedavo atď. Zložitejšie návrhy, kde sú jednotlivé diely voči sebe striedavo uložené opačne, môžu ovplyvniť konštrukciu nástroja, kde musia byť pre rovnakú operáciu použité dva nástroje, upnuté voči sebe o určitý stupeň zodpovedajúci vzájomnému natočeniu dielov.



Obr. 16 Uloženia výstrižkov [25]

Najväčšiu časť nákladov pri výrobe postupovým nástrojom predstavuje materiál, respektíve nutný odpad pri výrobe z polotovarov, ako pásov alebo plechov. Odpad je možné deliť na technologický a konštrukčný (obr. 17), kde technologický predstavuje zvyšok polotovaru, ktorý ostane v celku a obecné tvorí väčšinu celkového objemu odpadu. Materiál odvádzaný cez matricu na zberné miesto sa nazýva konštrukčný a jeho množstvo je len minimálne ovplyvniteľné. Preto je vhodné zamerať sa na minimalizovanie objemu technologického odpadu.



Obr. 17 Technologické a konštrukčné odpady [1]

Ukazateľom odpadovosti je súčiniteľ využitia polotovaru " k_{mat} ", ktorý pri navrhovaní výroby určuje vhodnosť návrhu nástrihového plánu podľa toho, pri ktorej možnosti je jeho hodnota najväčšia:

$$k_{mat} = \frac{S_{diel} \cdot n_{dielc}}{L_t \cdot \check{s}_p} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

kde: S_{diel} – plocha vyrábaného dielu bez otvorov [mm^2]

n_{dielc} – celkový počet dielov vyrobených z jedného polotovaru [-]

L_t – dĺžka polotovaru [mm]

\check{s}_p – šírka polotovaru [mm]

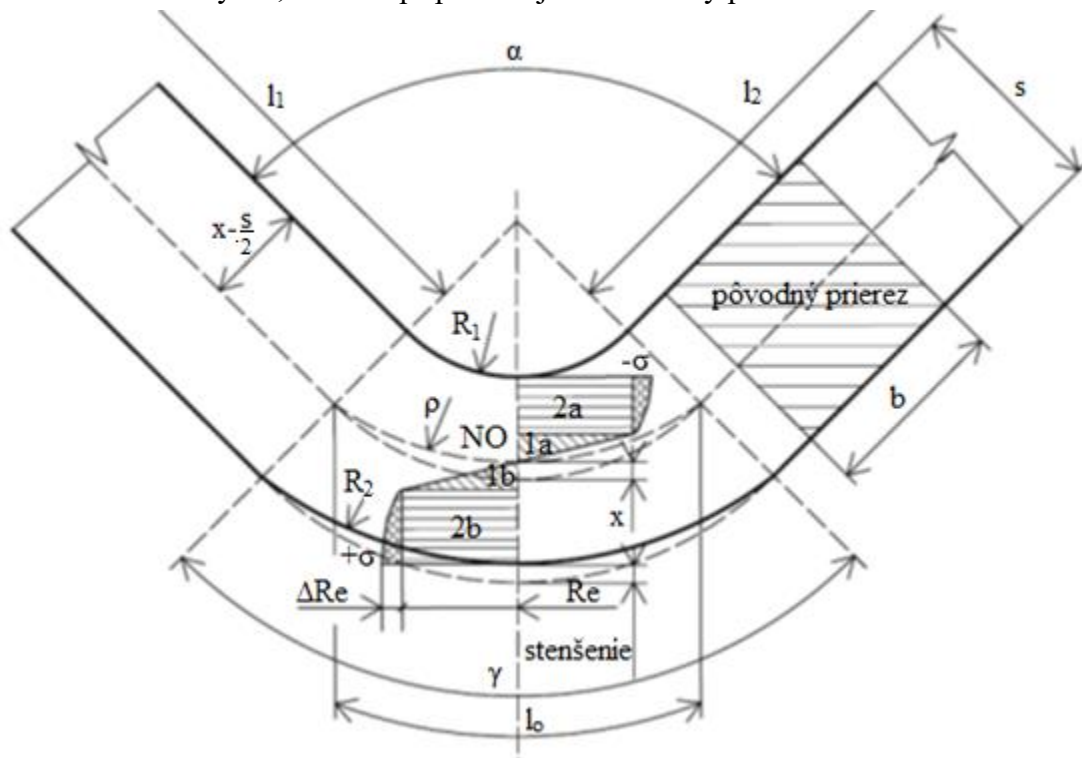
Pri výrobe z pásov plechu je ťažké určiť dĺžku samotného pásu, preto sa počíta súčiniteľ využitia materiálu na opakujúcom sa úseku pásu. Počas plánovania je nutné počítať s prepážkami, ktoré udržiavajú počas výrobného procesu jednotlivé výlisky na polotovare pre ďalšie spracovanie, napríklad ohýbanie, až po konečné odstrihnutie a odvedenie. Ich šírka je závislá na tvare výstrižku, hrúbke plechu, mechanických vlastnostiach materiálu a spôsobe podávania. Samotná prepážka predstavuje nezanedbateľnú časť odpadu hlavne u hrubších polotovarov.

2.2 Technológia ohýbania [2], [3], [21], [25], [28]

Ohýbanie je často používaná technológia v strojárskych výrobe, kde dochádza k trvalej deformácii polotovaru, napríklad plechu, vďaka napätiu vznikajúcemu od pôsobiacej sily. Tvar požadovaného ohybu je väčšinou dosiahnutý u plechov pomocou jedného alebo viacerých ohybov za studena s využitím vhodných strojov a nástrojov.

Pri ohýbaní dochádza na vnútornej strane spracovávaného dielu ku vzniku tlakových a na vonkajšej strane ťahových napätí, čo má za následok stláčanie, respektíve natiahovanie vlákien materiálu. Okolo strednej časti prierezu polotovaru sú ťahové napätia malé a nedosahujú medzi klzu, teda nedochádza k plastickej deformácii. V prechode medzi týmito dvoma pásmami sa nachádzajú vlákna bez deformácie a napätia a ich spojnice tvorí neutrálnu osu, ktorá je využívaná pri výpočte rozvinutej dĺžky ohýbaného dielu. Jej poloha je v nezdeformovanom polotovare v strede jeho prierezu, teda totožná s osou ťažiska, a pri ohýbaní sa posúva smerom k vnútornej strane ohybu (obr. 18). Pokiaľ je ale polomer ohybu aspoň dvanásťkrát väčší ako hrúbka materiálu, neuvažuje sa posun neutrálnej osi.

Podstatou ohybu je zaťažovanie polotovaru tak, že napätie má hodnotu väčšiu ako je medza klzu materiálu, ale zároveň nemôže prísť k prekročeniu medze pevnosti, aby nedošlo k porušeniu výrobku. Pre hodnotenie napätosti a deformácii je nutné rozlišovať aký prierez polotovaru sa bude ohýbať, v tomto prípade sa jedná o široký pás.

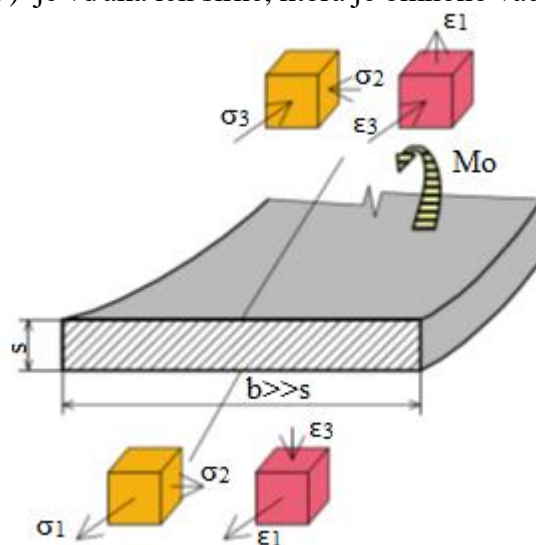


1a, 1b – oblasť pružnej deformácie 2a, 2b – oblasť plastickej deformácie so spevnením
 x - veľkosť posunutia neutrálnej osi R_o – polomer ohybu
 l_o – dĺžka ohnutého úseku ρ – polomer neutrálnej osi
 γ – uhol ohnutého úseku α – uhol ohybu

Obr. 18 Schéma ohybu [21]

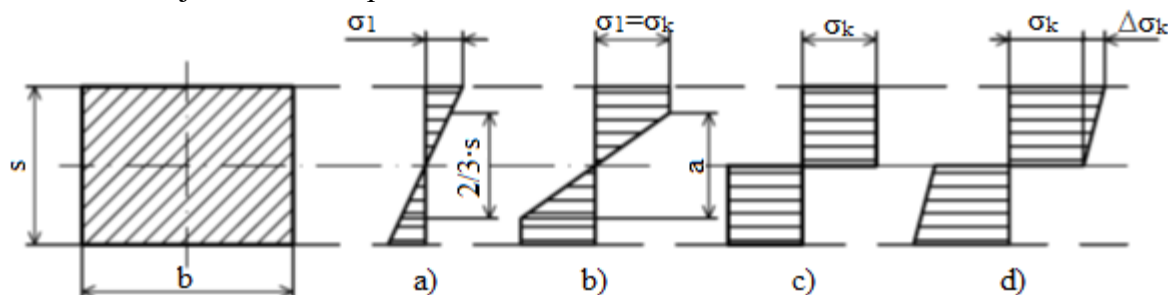
Pri ohýbaní širokých pásov plechu (obr. 19) je vďaka ich šírke, ktorá je omnoho väčšia ako hrúbka, zabránené deformáciám v priečnom smere. Teda ϵ_2 sa rovná nule a z rovinného stavu deformácie vyplýva, že na ťahovej strane bude platiť $\epsilon_1 = -\epsilon_3$ a na tlakovej - $\epsilon_1 = \epsilon_3$. Tejto situácii zodpovedá rovinný stav napätosti v krajných vláknoch.

Od začiatku zaťažovania po dosiahnutie hodnoty medze klzu (obr. 20a) materiálu je polotovar deformovaný iba elasticky, teda platia základné vzťahy pre deformáciu a napätie odvodené z Hookovho zákona. Pri zvyšovaní vonkajšieho zaťažovania dochádza v krajných vláknoch materiálu k prekročeniu medze klzu " σ_k " a materiál je deformovaný plasticke (obr. 20b), pričom vo vnútri materiálu ostávajú vrstvy, s veľkosťou " a ", ktoré sú naďalej



Obr. 19 Schéma napätosti a deformácií pri ohybe širokých pásov [21]

v pružnom stave. Pri ďalšom zaťažovaní dochádza k zužovaniu oblasti elastickej deformácie až do stavu, kedy je $a = 0$ a hodnota napätia sa už nemení (obr. 20c). Na obr. 21d je znázornený reálny priebeh napätia pri ohýbaní s vplyvom spevnenia, ktoré je najvýraznejšie vo vonkajších vláknach a kde je medza klzu prekročená o hodnotu " $\Delta\sigma_k$ ".



Obr. 20 Rozloženie napätí na priereze ohýbaného materiálu [21]

2.2.1 Určenie polohy neutrálnej osi a dĺžky rozvinu [2], [18], [29]

Ako už bolo vyššie spomínané, pre správne stanovenie dĺžky rozvinutého polotovaru je nutné poznať veľkosť posunutia neutrálnej osi ρ . Túto hodnotu je možné vypočítať a následne určiť dĺžku rozvinu, alebo využiť rýchlejšiu metódu pomocou dnes už bežne dostupných špecializovaných programov ako napríklad AutoPOL BendSim Unfold alebo Trumpf TruTops Unfold. Cena týchto programov je ale relatívne vysoká a v niektorých prípadoch bežne postačí výpočet cez overené vzorce. Pri zložitejších dieloch sa ale tieto programy oplatia, pre značnú úsporu času pri konštrukcii.

Riešený diel predstavuje široký pás, keďže jeho hrúbka je omnoho menšia ako šírka. V týchto prípadoch sa využíva výpočet polohy neutrálnej plochy pomocou súčiniteľa " x ".

$$\rho = R_1 + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: x – súčiniteľ posunutia neutrálnej plochy

Súčiniteľ je možné určiť podľa experimentálne zostavených tabuliek, príkladom je tab. 3 určená pre mäkké ocele pri ohybe do uhla 90° .

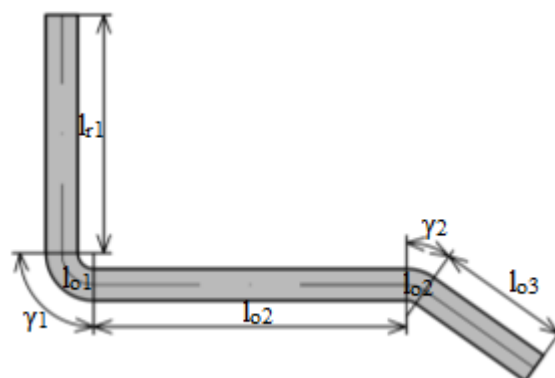
Tab. 3 Závislosť súčiniteľa x v závislosti na pomere R_1/s [2]

R_1/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00	15,00	20,00
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,470	0,475	0,478	0,480	0,483	0,486	0,492	0,498

Dĺžka rozvinutého polotovaru (obr. 21) sa určuje ako súčet dĺžok rovných a ohýbaných úsekov. Najskôr je teda nutné zistiť, aký je počet ohybov na diely, správne určiť ich parametre a následne spočítať polohy neutrálnych plôch v jednotlivých ohyboch. Pre výpočet dĺžky rozvinu ohybu je možné využiť vzorec:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: $\gamma = 180 - \alpha$ – uhol ohýbaného dielu $[\circ]$



Obr. 21 Určenie dĺžky rozvinutého dielu

A po určení dĺžok rovných častí stačí všetky hodnoty len spočítať, teda:

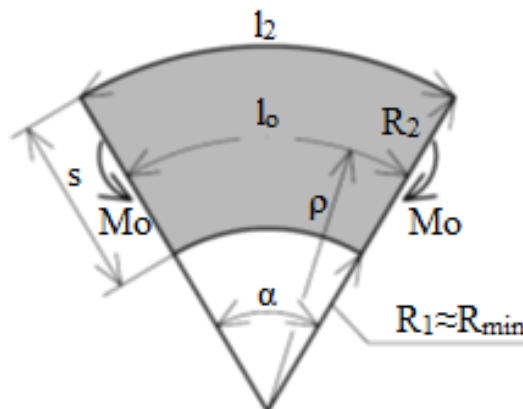
$$l_c = \sum_{i=1}^n l_{ri} + \sum_{j=1}^m l_{oj} = l_{r1} + l_{r2} + \dots + l_{rn} + l_{o1} + l_{o2} + \dots + l_{om} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

kde: l_r – dĺžka rovných úsekov [mm]

l_o – dĺžka ohnutých úsekov [mm]

2.2.2 Minimálny a maximálny polomer ohybu [2], [18], [21]

Najmenší polomer, aký je možné dosiahnuť pri ohýbaní bez toho, aby na vonkajších vláknach polotovaru nedošlo k prekročeniu medze pevnosti, a teda vzniku trhlin, sa nazýva minimálny polomer ohybu " R_{min} ". Jeho veľkosť je závislá od plasticity (žiháný alebo spevnený stav), uhle ohybu, šírky a hrúbky polotovaru a kvalite jeho povrchu. Do nástroja je nutné zakladať polotovar ostrinami vzniknutými po delení materiálu smerom hore, aby boli pri ohýbaní namáhané tlakom a neboli roztáňované. Ďalej je vhodné pre zníženie rizika poškodenia polotovaru orientovať ohyb kolmo na vlákna materiálu, kde je vyššia plasticita. V praxi sa využíva R_{min} len zriedkavo, väčšinou sa volia hodnoty o 20 % vyššie pre zaručenie bezpečného ohybu. Veľkosť minimálneho polomeru je možné určiť z normy ČSN 22 7440 pre rôzne materiály, stavy a spôsoby ohybu, napríklad pre mäkkú oceľ predstavuje $R_{min} = (0,4 \text{ až } 0,8) \cdot s$.



Obr. 22 Deformačná schéma ohybu [21]

V krajných vláknach vznikajú najväčšie napätia a s nimi súvisiace deformácie, ktorých veľkosť je možné určiť s využitím schémy na obr. 22, podľa vzorca:

$$\varepsilon_{tmax} = \frac{l_2 - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho \cdot \alpha}{\rho \cdot \alpha} = \frac{(R_{min} + s) - \left(R_{min} + \frac{s}{2}\right)}{\left(R_{min} + \frac{s}{2}\right)} = \frac{s}{2 \cdot R_{min} + s} \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

kde: ε_{tmax} – maximálna trvalá plastická deformácia [-]

l_0 – dĺžka neutrálnej osi [mm]

l_2 – dĺžka vonkajšej časti polotovaru [mm]

R_2 – polomer vonkajšej časti polotovaru [mm]

α – uhol ohybu [°]

A z ktorého je možné ďalej určiť veľkosť R_{min} :

$$R_{min} = \frac{s \cdot (1 - \varepsilon_{tmax})}{2 \cdot \varepsilon_{tmax}} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

kde: c – súčiniteľ vyjadrujúci vplyv anizotropie a spevnenia, pre mäkkú oceľ

$c = 0,6 \text{ až } 0,8$ [-]

Najväčší polomer ohybu, pri ktorom ešte prichádza k plastickej deformácii, sa označuje " R_{max} ". Z obr. 20 je zjavné, že k trvalej zmene tvaru dochádza najskôr v krajných vláknach materiálu, preto hodnota R_{max} je zároveň hodnotou, pri ktorej v týchto vláknach dochádza k prechodu elastickej deformácie do plastického stavu. Hodnotu polomeru vyjadruje rovnica:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{s \cdot E}{2 \cdot Re} \quad [\text{mm}] \quad (2.8)$$

kde: E – modul pružnosti v ťahu [MPa]

Re – medza klzu [MPa]

2.2.3 Odpruženie [2], [3], [21], [30], [31], [32]

Zákon odpruženia po trvalej zmene tvaru hovorí, že pred každou plastickou deformáciou nastáva elastická (obr. 23). Vďaka tomuto jednému zákonu tvárnenia dochádza k odpruženiu materiálu po tom, ako prestane pôsobiť pretvárná sila. S týmto javom je nutné počítať pri konštruovaní ohýbacieho nástroja tak, aby výsledný diel mal požadovaný tvar a spĺňal požiadavky zadania. Veľkosť odpruženia je závislá na kvalite a hrúbke materiálu, polomere ohybu, uhle ohybu a spôsobe ohýbania (v tomto prípade ohyb do tvaru U). Všeobecne pri ohýbaní platí, že čím je deformácia v mieste ohybu väčšia, tým je odpruženie menšie, ďalej sa odpruženie znižuje pri rastúcej hrúbke a s klesajúcim polomerom ohybu.

Pre približný výpočet veľkosti odpruženia pri ohýbaní do tvaru U je s využitím obr. 24 možné použiť vzorec:

$$\operatorname{tg} \beta_U = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_u \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.9)$$

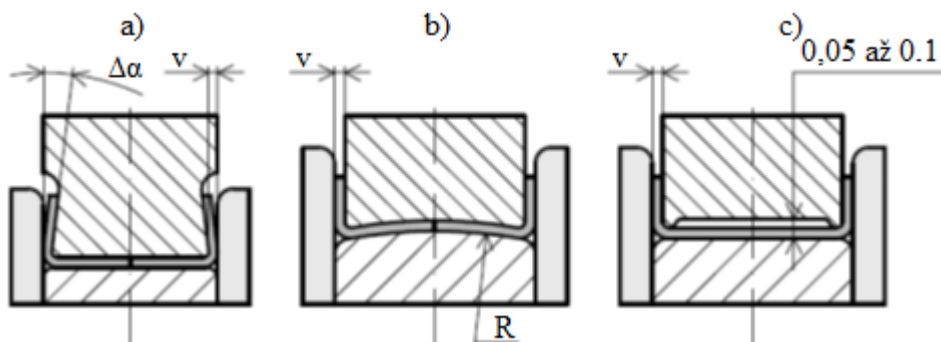
kde: β_U – uhol odpruženia pri ohybe do tvaru U [°]

l_u – vzdialenosť medzi

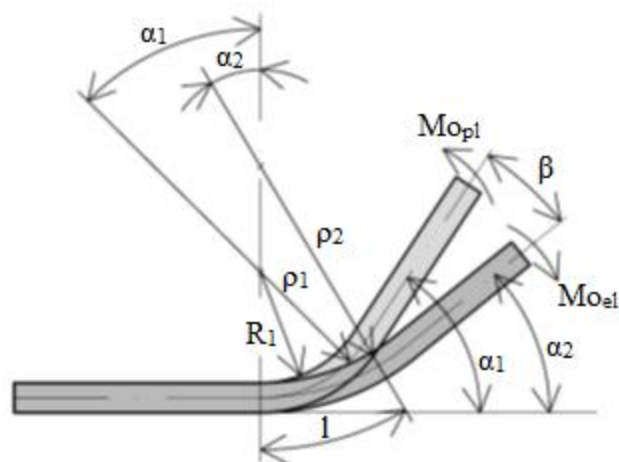
opornými bodmi ohýbadla v tvare U [mm]

k_u – súčiniteľ určujúci polohu neutrálnej osi v závislosti na pomere R_1/s

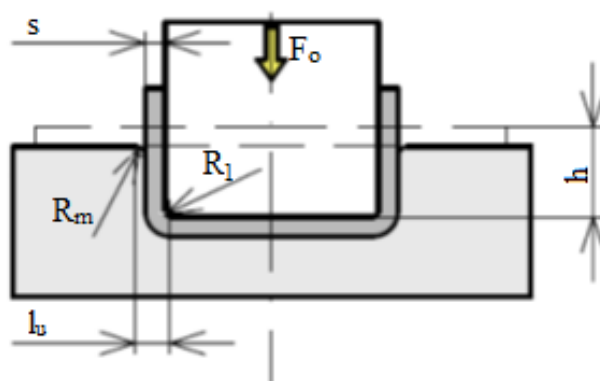
Odpruženie nie je možné nikdy úplne odstrániť a je nutné s ním počítať pri konštrukcii nástroja alebo zostavovaní výrobného postupu, a týmto zabezpečiť dodržanie rozmerovej presnosti vyrábaného dielu. Na moderných ohýbaciach a ohraňovacích centrách sa ohyb robí v dvoch krokoch. V prvom kroku je ohnutý diel na požadovaný uhol, kde po odľahčení materiál odpruží. Ovládací software si zo zadaných parametrov vypočíta odpruženie materiálu a v druhom kroku ohne polotovar na konečný zadaný uhol. Pri nástrojoch určených pre klasické univerzálne lisy je toto riešenie zložité, preto sa využívajú rôzne upravené ohybníky, ohybnice, prípadne vyhadzovače.



Obr. 25 Možnosti úprav nástroja pre odstránenie odpruženia pri ohybe [21]



Obr. 23 Schéma odpruženia pri ohybe [21]



Obr. 24 Schéma k výpočtu veľkosti odpruženia pri U ohybe [21]

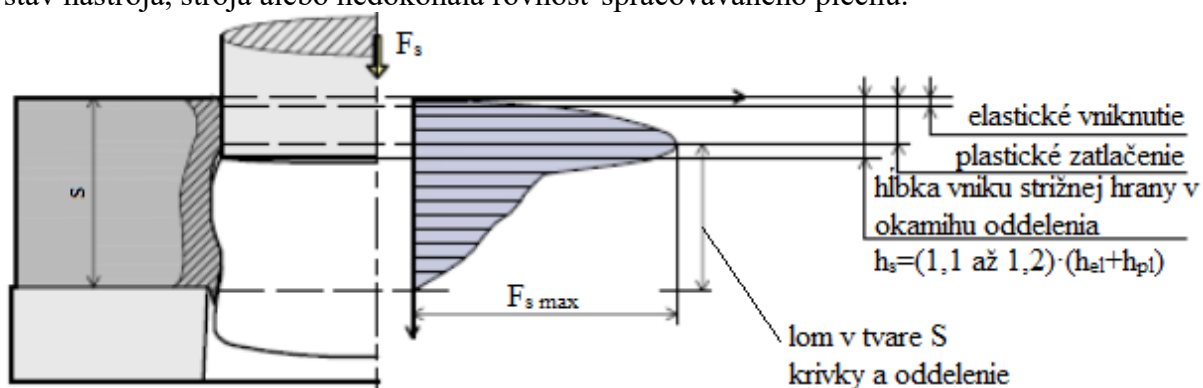
Na obr. 25a je znázornený podbrúsený ohybník s uholom " $\Delta\alpha$ " s vytvorenou zápornou voľou v , ktorej veľkosť má hodnotu približne deväťdesiatich percent hrúbky materiálu. Ďalšou možnosťou je zaobliť ohybník alebo vyhadzovač na polomer R (obr. 25b), ktorý funguje podobne ako prvý prípad s tým rozdielom, že prídavný ohyb je na spodnej strane dielu. Vyššie spomínané pravidlo o zmenšení odpruženia pri zvýšenej deformácii je využité v treťom variante (obr. 25c), kde je v ohniskách deformácie pomocou kalibrácie dosiahnuté spevnenie materiálu. Jednou z možností je aj riešenie s využitím prelisovaných vystužených rebier (obr. 26). Toto riešenie je relatívne jednoduché, ale nemusí byť vhodné pre všetky druhy výrobkov, napríklad pre pohľadové diely. Istú komplikáciu pri tomto riešení predstavuje zložitejšie určenie rozvinutého polotovaru, keďže je nutné počítať s materiálom, ktorý obsahujú prelisované rebra.



Obr.26 Prelisované rebra [31]

2.3 Sila a práca [1], [2], [21], [26], [33]

Určenie potrebných síl je nutné pre správnu konštrukciu nástroja a voľbu vhodného stroja pri plánovaní výroby. Na veľkosť strižnej sily vplyvajú hlavne mechanické vlastnosti strihaného materiálu a geometria vyrábaného dielu. Určitý vplyv majú aj vonkajšie faktory ako stav nástroja, stroja alebo nedokonalá rovnosť spracovávaného plechu.



Obr. 27 Priebeh strižnej sily v závislosti na polohe strižníka [1]

Samotný priebeh strižnej sily (obr. 27) je možné rozdeliť na dve časti, teda na prvú, kde strižná sila prudko rastie a druhú, kde sila klesá. Prvá časť sa skladá z dvoch úsekov, najskôr dochádza k elastickej deformácii, pri ktorej sa pečuje materiál pod čelom strižníka a vzniká zaoblenie na strižnej hrane. Po prechode deformácie do plastického stavu sa pri postupnom väčšom ponáraní nástroja do materiálu znižuje strižná plocha, a teda by mala klesať aj strižná sila, jej rast je ale dôsledkom vplyvu deformačného spevňovania materiálu. Po vzniku prvých trhlin sa začína tvoriť typická S krivka a sila prudko klesá až do hĺbky ponorenia h_s . Ďalej je oddelený materiál postupne vytláčaný od polotovaru a sila postupne klesá až do nuly.

Veľkosť potrebnej strižnej sily je možné vypočítať pomocou vzorca:

$$F_s = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (2.10)$$

kde: F_s – strižná sila [N]

$n = (1,2 \text{ až } 1,5)$ je zvyšujúci koeficient zahŕňajúci vplyv vonkajších podmienok pri strihaní, tj. nerovnomernosť hrúbky plechu, nerovnomernosť napätosti a predovšetkým zhoršenie kvality strižných hrán [-]

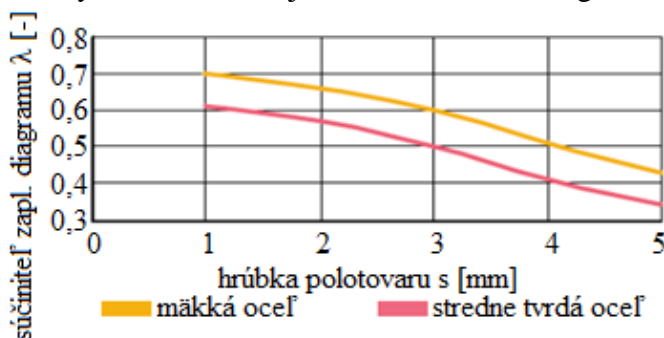
O – dĺžka krivky strihu [mm]

Strižná práca "A" vyjadruje energiu potrebnú na oddelenie výstrižku od polotovaru a je určená ako integrál krivky strižnej sily v závislosti na polohe strižníka a jej veľkosť je možné určiť vzťahom:

$$A = \lambda \cdot F_{s \max} \cdot s \text{ [J]} \quad (2.11)$$

kde: $F_{s \max}$ – maximálna strižná sila [N]

λ – súčiniteľ zaplnenia diagramu, ktorého hodnota je závislá od hrúbky, mechanických vlastností spracovávaného materiálu a pri niektorých materiáloch je možné ho odčítať z grafov (obr. 28)



Obr. 28 Graf určujúci hodnotu súčiniteľa zaplnenia [33]

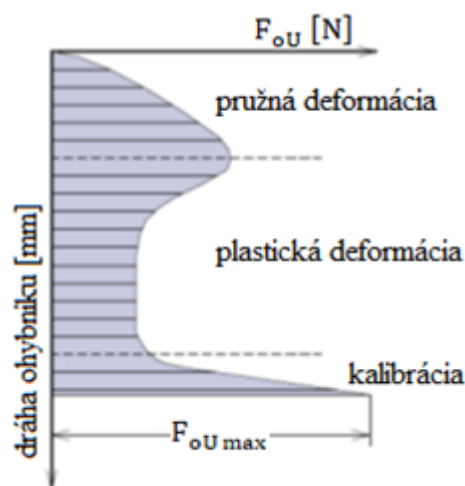
Priebeh ohybovej sily pri ohybe do tvaru U ukazuje obr. 29, kde je vidno, že hodnota okamžitej sily počas procesu stúpa a klesá v závislosti od polohy nástroja. Po dotyku ohybníka s plechom dochádza k elastickej deformácii, ktorá sa prejavuje prudkým rastom hodnoty okamžitej sily. Po prechode deformácie z elastickeho stavu do plastickeho okamžitá sila klesá, aby sa následne ustálila. V poslednej časti, tzv. kalibrácii, dochádza k prudkému rastu sily, až pokiaľ nie je diel skalibrovaný a teda hotový. Všeobecne je najväčšia sila pri procese práve v poslednej fáze ohybu, a ďalej sa využíva pri výpočte potrebnej práce pri ohybe.

Norma ČSN 22 7340 udáva vzťahy pre výpočet ohybovej sily v závislosti od rozmerov polotovaru, mechanických vlastností a parametroch procesu pre ohyb do U takto:

$$F_{oU} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R_1 + s} \cdot (1 + 7 \cdot f_t) \text{ [N]} \quad (2.12)$$

kde: F_{oU} – ohýbacia sila pri ohybe do tvaru U [N]

f_t – súčiniteľ trenia [-]



Obr. 29 Priebeh ohýbacej sily pri ohybe do U v závislosti na polohe ohybníku [2]

Práca potrebná pre ohyb je, podobne ako strižná práca, závislá od priebehu sily a hĺbke ponorenia nástroja, preto je jej výpočet podobný. Vzťah uvádzaný normou ČSN 22 7340 je:

$$A_{oU} = m \cdot F_{oU \max} \cdot h \text{ [J]} \quad (2.13)$$

kde: A_{oU} – práca pri ohybe do tvaru U [J]

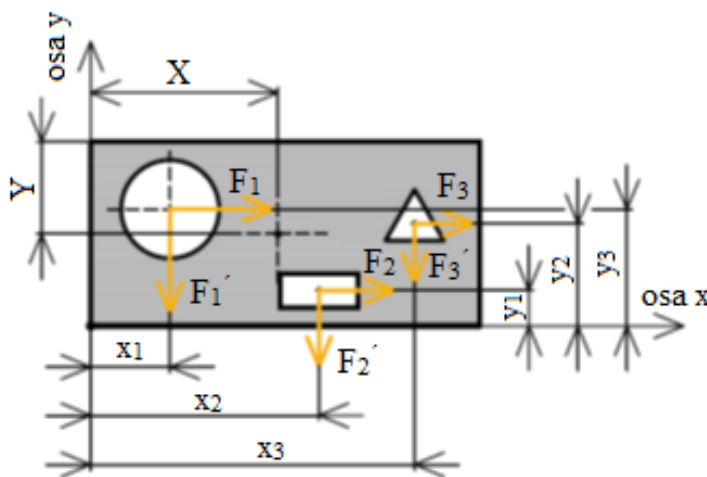
$F_{oU \max}$ – maximálna ohýbacia sila pri ohybe do tvaru U [N]

m – súčiniteľ zaplnenia diagramu, bežne uvažovaný ako $m = 1/3$ [-]

h – hĺbka ponorenia ohybníku [mm]

Pre zaistenie čo najmenšieho zaťažovania tvárniaceho stroja a predĺženie životnosti postupového združeného nástroja je dôležité správne určiť ťažisko strižných a ohybových síl. Jednotlivé pôsobiská síl pri výrobe zložitejších tvarov väčšinou neležia v osi stroja. Preto je nutné navrhnuť umiestnenia jednotlivých nástrojov tak, aby vzájomným pôsobením zabráňovali vzniku klopných momentov a teda okrem vyššie spomínaných problémov nespôsobovali zníženie presnosti výroby. Určenie ťažiska môže byť:

- Výpočtové – vychádza z podmienky rovnováhy síl (obr. 30), teda že súčet jednotlivých momentov vyvolaných silami je k uvažovanej osi nulový. Pri platnosti úvahy, že hrúbka a mechanické vlastnosti sú pre celý výstrižok rovnaké, je veľkosť strižnej sily úmerná obvodu strihaného tvaru a po určení jednotlivých síl spolu s ohybovými silami je možné určiť polohu ťažiska pre smer v osi X vzťahom:



Obr. 30 Určenie polohy ťažiska strižných síl pomocou výpočtu

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \cdot x_i}{F_x} = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + \dots + F_n \cdot x_n}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n} [\text{mm}] \quad (2.14)$$

A obdobne pre smer v osi Y:

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{F'_i \cdot y_i}{F_y} = \frac{F'_1 \cdot y_1 + F'_2 \cdot y_2 + F'_3 \cdot y_3 + \dots + F'_n \cdot y_n}{F'_1 + F'_2 + F'_3 + \dots + F'_n} [\text{mm}] \quad (2.15)$$

kde: F_i, F'_i – sily v pôsobiskách v smere X, resp. Y [N]

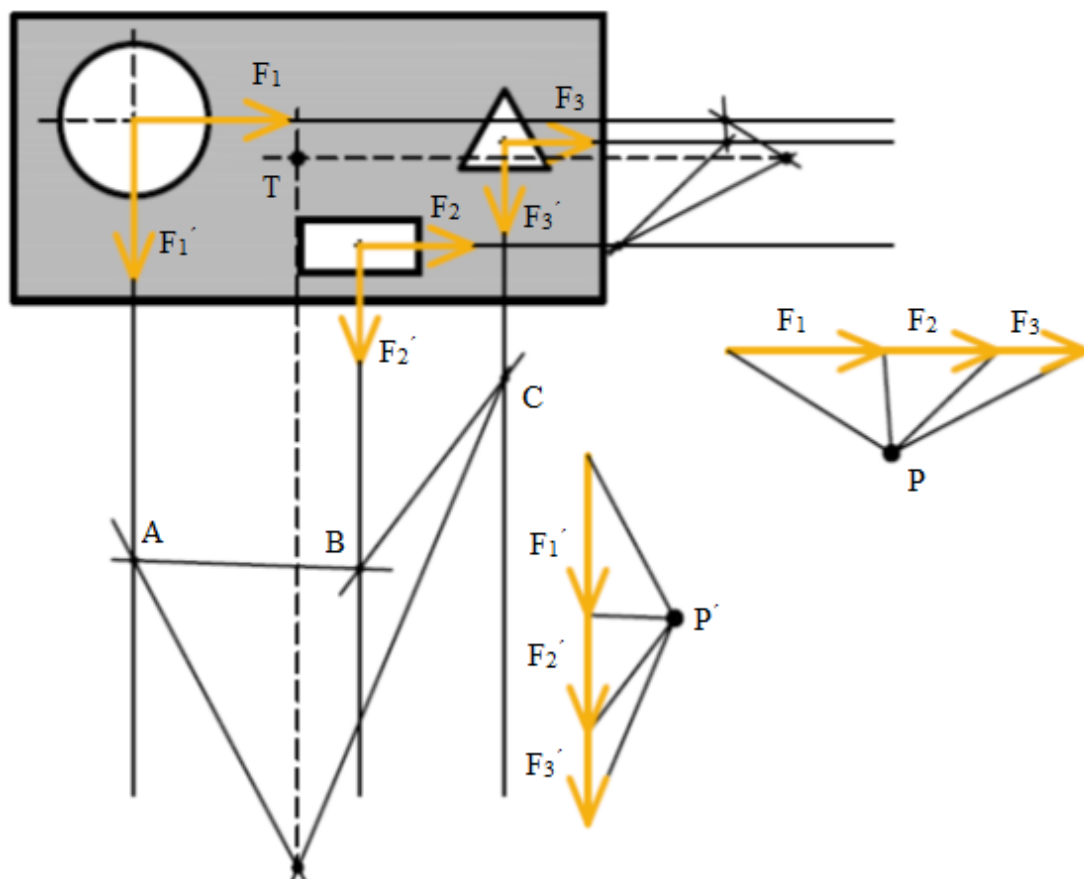
x_i – vzdialenosť pôsobísk jednotlivých síl v smere osi X [mm]

y_i – vzdialenosť pôsobísk jednotlivých síl v smere osi Y [mm]

F_x, F_y – celková sila v smere osi X, resp. Y [N]

- Grafické – známa tiež ako Cremonova metóda určenia ťažiska. Toto riešenie je oproti výpočtovému relatívne zdĺhavé a náročné, môže ale slúžiť ako overenie správnosti polohy ťažiska získanej výpočtom. Na začiatok je nutné do schémy uloženia strižníkov vyniesť vektory jednotlivých síl smeroch X a Y (obr. 31) tak, aby ich dĺžka odpovedala v určenej mierke ich skutočnej veľkosti. Ďalej je postup pre oba smery rovnaký, ale riešia sa samostatne. V riešenom smere sú vynesené vektory všetkých síl do jednej priamky tak, aby boli v rozumnej vzdialenosti pólu P, ktorý môže byť uložený ľubovoľne, ale ideálne mimo samotnej schémy. Jednotlivé začiatky a konce síl je nutné spojiť s pólom, pričom vznikajú priamky s rôznymi smermi. Je vhodné v riešenom smere predĺžiť nositeľky síl tak, aby boli mimo schémy a na nositeľke prvej sily je zvolený bod A, z ktorého je vedená priamka rovnobežná s úsečkou medzi pólom a koncom vektora prvej sily F'_1 . V mieste, kde vynesená priamka pretne nositeľku sily F_2 , vzniká bod B, cez ktorý podobne ako v predchádzajúcom kroku, vedie priamka

s rovnakým smerom ako má úsečka medzi pólom a koncom vektora F_2' v obrazci. Po vynesení všetkých priamok sa z počiatočného bodu A vedie posledná priamka, ktorá má smer úsečky medzi pólom a počiatočným bodom F_1' . Vzniknutý bod určuje polohu ťažiska v danej súradnici a po vyriešení polohy v druhom smere je získaná presná poloha ťažiska.



Obr. 31 Určenie polohy ťažiska pôsobiacich síl pomocou grafického určenia

2.4 Nástroje [8], [21], [27], [34], [35]

Ako už bolo spomínané, postupový združený nástroj (obr. 32) je na jednej strane vysoko produktívny vo výrobe, ale na druhej strane aj konštrukčne zložitý. Táto zložitosť je spôsobená hlavne veľkým množstvom dielov, pričom je nutné zabezpečiť ich bezproblémovú funkčnosť.

Najväčší diel nástroja reprezentuje nepohyblivá základová doska, ktorej veľkosť závisí hlavne od množstva operácií a použitých technológiách. Jednou z funkcií je odvod odpadu mimo pracovný priestor, ktorý sa uskutočňuje otvormi v doske, ktoré sú približne o dva milimetre väčšie ako vnútorný priemer strižnice. Pre jednoduchšiu manipuláciu sú na doske po obvode otvory na ukotvenie čapov.

V hornej časti nástroja sa nachádza upínacia doska, ktorá svojím pohybom prenáša tvárniacu silu z barana cez ďalšie časti na pohyblivé funkčné časti nástroja. K presnému a stabilnému spojeniu dosky so strojom slúži stopka, nachádzajúca sa na vrchnej strane. Tvar stopky je normalizovaný a jej veľkosť je volená s ohľadom na veľkosť zariadenia, ktorý nástroj využíva. Po bokoch upínacej dosky sa nachádzajú otvory, ktoré slúžia k zalisovaniu vodiacich puzdier a vytvorenie miesta pre prechod vodiacich stĺpikov pevne uložených v spodnej časti dosky.

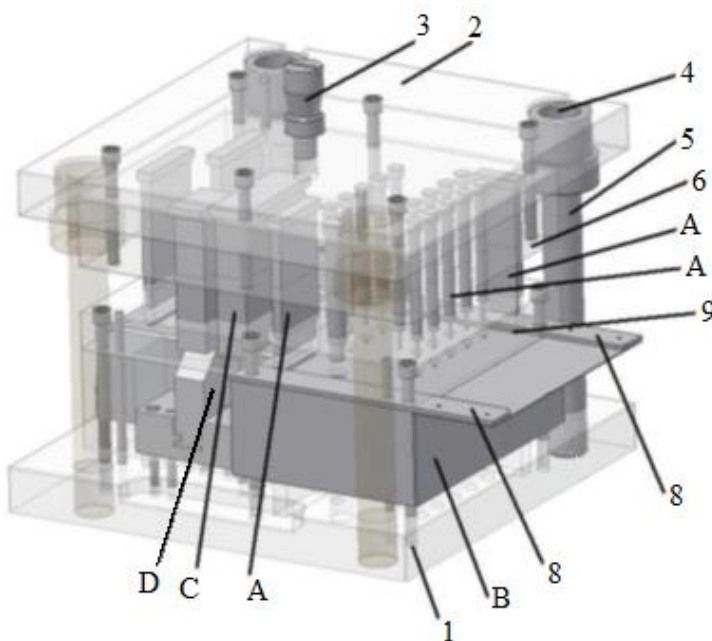
Časti, ako strižník alebo ohybník, sú opreté o upínaciu dosku a z druhej strany zaistené kotevnou doskou, ktorá je stiahnutá skrutkami. Pokiaľ je funkčná časť opretá priamo o dosku, môže hlavne pri väčších zaťaženiach dochádzať k jej deformácii. Preto je vhodné

využiť ako medzikus tzv. opornú dosku, ktorá je vyrobená z kvalitnejšieho materiálu a ľahko vymeniteľná, čo predlžuje životnosť nástroja ako celku. Opornú dosku je nutné použiť, pokiaľ napätie vyvolané strižníkom " σ " je väčšie ako napätie dovolené " σ_{Dov} ". Veľkosť napätia je možné určiť pomocou vzťahu:

$$\sigma_o = \frac{F_s}{S} < \sigma_{Dov} \text{ [MPa]} \quad (2.16)$$

kde: S – plocha opornej plochy strižníku

Aby nedochádzalo k zbytočnej výrobe nezhodných dielov je nutné zaistiť to, aby bol polotovar po celý proces v správnej polohe a rovnako, aby nástroje nevybočovali zo svojej dráhy. Horizontálnemu vybočeniu plechu do strán zabráňujú vodiace lišty umiestnené na základovej doske. Jedná sa o jednoduché diely, ktoré sú zaistené skrutkami. Priamo na lištách, alebo mierne nad nimi sa môže inštalovať vodiaca doska, ktorá ma dve funkcie. Prvou je zabránenie vertikálnemu pohybu plechu alebo jeho vzpriecheniu. Druhou je zabezpečenie zotretia plechu zo strižníka pri spätnom pohybe, a teda zabráneniu ďalšiemu pohybu plechu prípadne poškodeniu nástroja. Pre úplné zaručenie správnej polohy plechu v jednotlivých krokoch voči strižným nástrojom sa do strižníkov inštalujú hľadáčky. Sú to väčšinou kónické výstupky na čelách, ktoré pred samotným dosadnutím strižníka vstúpia do predpripravených otvorov a tým posunutý plech vycentrujú.



Obr. 32 Postupový združený nástroj [35]

Technické normy, ktoré sa zaoberajú rozmermi a vlastnosťami jednotlivých dielov sú uvedené v tab. 4 spoločne s príkladmi bežne používaných materiálov.

Tab. 4 Príklady materiálov používaných pri jednotlivých dieloch a technické normy [8]

Súčiastka	Norma	Materiály	Tepelné spracovanie
1 Základová doska	ČSN 22 6273	11 500, 42 2456	Bez spracovania
2 Upínacia doska	ČSN 22 6273	11 500	Bez spracovania
3 Stopka	ČSN 22 6264	11 600	Bez spracovania
4 Vodiace puzdra	ČSN ISO 9448	14 220, 11 500	Cementované, HRC = 60-62
5 Vodiace stĺpiky	ČSN ISO 11415	14 220, 11 500	Cementované, HRC = 60-62
6 Kotevná doska	ČSN 22 6273	11 500	Bez spracovania
7 Oporná doska	ČSN 22 6273	11 700, 12 050	Bez spracovania
8 Vodiace lišty	ČSN 22 6307	11600, 14 220	Cementované, HRC = 60-62
9 Vodiaca doska	ČSN 22 6273	11 500	Cementované, HRC = 60-62
10 Hľadáčky	ČSN 22 6340	14 220, 19 191	HRC = 56-60

2.4.1 Strižníky a strižnice [8], [23], [27], [34]

Ako funkčné časti pri strihu slúžia pevná strižnicá a pohyblivý strižník. Z technologického hľadiska je možné deliť strižníky na:

- Vystrihovacie a prestrihovacie – výroba otvorov alebo vystrihovanie obrysov dielov tak, že stále ostávajú pevne spojené s polotovarom.
- Odstrihovacie – využívané hlavne pri poslednej operácii v nástroji, kde dochádza k oddeleniu dielu od polotovaru.

Hlavne u dlhých a tenkých strižníkov môže hroziť porušenie vzpernej stability, je preto nutné urobiť kontrolu na vzper a prípadne upraviť dĺžku nástroja tak, aby spĺňal požiadavky na bezproblémovú prevádzku. Základnou podmienkou je, že dĺžka voľnej časti strižníka "l" (obr. 33) musí byť nižšia než kritická dĺžka "l_k", pri ktorej by došlo k strate stability. K výpočtu je možné využiť vzorec:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{F_s \cdot \mu}} \text{ [mm]} \quad (2.17)$$

kde: I – moment zotrvačnosti prierezu strižníka [mm⁴]

μ – súčiniteľ bezpečnosti (μ = 1,5 až 2) [-]

Moment zotrvačnosti prierezu pre kruhový strižník sa určuje vzorcom:

$$I_d = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \text{ [mm}^4\text{]} \quad (2.18)$$

kde: d – priemer strižníka [mm]

a obdĺžnikový strižník platí:

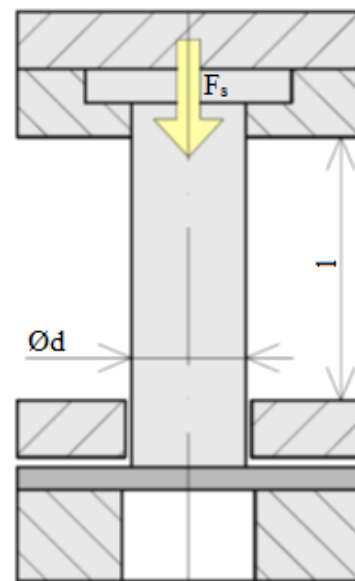
$$I_o = \frac{a \cdot b^3}{12} \text{ [mm}^4\text{]} \quad (2.19)$$

kde: a – rozmer rovnobežný so smerom straty stability [mm]

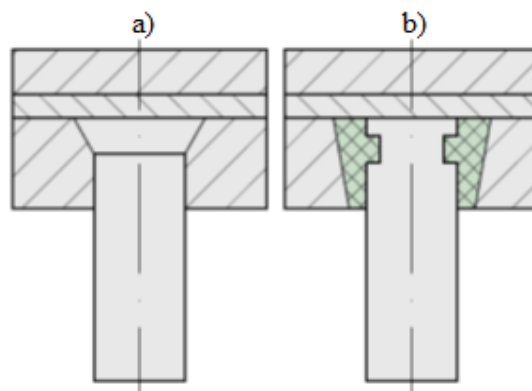
b – rozmer kolmý na smer straty stability [mm]

Pri veľkých priemeroch (nad 50 mm) sa pre ušetrenie drahého nástrojového materiálu nástroje konštruujú ako dvojdielne. Telo nástroja je vyrobené z lacnejšej konštrukčnej ocele a strižná časť z nástrojovej ocele. Pokiaľ je požadované dierovanie malých otvorov (pod 5 mm) v tvrdých materiáloch môže dochádzať k rýchlemu poškodeniu nástroja, je preto vhodné zosilniť vedenie strižníka po celej dĺžke.

Upnutie strižníka do nástrojovej zostavy je možné rôznymi spôsobmi. Pri malých priemeroch sa využíva roznitovanie žíhaného konca (obr. 34a), zaistenie poistnou guľičkou, skrutkou alebo kolíkom. U stredne veľkých rozmerov je upnutie vyriešené úpravou upínacej hlavy, a to buď do tvaru valca (obr. 33) alebo kužeľa. U najväčších rozmerov by boli vyššie spomenuté riešenia náročné alebo nedostatočne spoľahlivé, preto sa v tomto prípade využívajú skrutky s kolíkmi, ktoré pevne udržiavajú strižník v správnej polohe, alebo sa strižníky zalievajú do živice (obr. 34b).



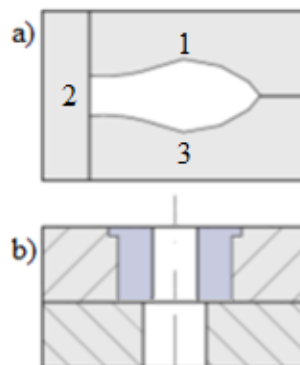
Obr. 33 Schéma vzperu



Obr. 34 Možnosti upnutia strižníkov [34]

Strižnica je nepohyblivá časť nachádzajúca sa na základovej doske, cez ktorú odchádza odpad po strihu mimo pracovný priestor. Konštrukčne sa využívajú tri typy strižníc:

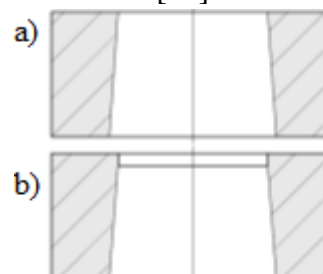
- celistvé – vyrobené z jedného kusu materiálu a vhodné hlavne pre jednoduchšie tvary strihov,
- skladané (obr. 35a) – zložené z viacerých kusov, ktoré sú zostavené do jedného celku a sú využívané pre zložitejšie tvary,
- vložkované (obr. 34b) – kalená vložka je zalisovaná do nekalenej dosky, čím je možné ušetriť náklady za nástrojovú oceľ.



Obr. 35 Skladaná a vložkovaná strižnica [34]

Ďalej je možné vzhľadom na tvar strižného otvoru deliť strižnice na:

- Valcové (obr. 35b) – využívané pri dieloch, kde sa výstrižok nepovažuje za odpad, ale výrobok, diel je teda vytlačený späť nad strižnicu,
- Kuželové (obr. 36a) – určené pre malé diely so strednou presnosťou, veľkosť uhla rastie so strihanou hrúbkou materiálu,
- kuželové s valcovou fazetkou (obr. 36b) – vhodné pre komplikované tvary s vysokými požiadavkami na presnosť.



Obr. 36 Strižnica kuželová a kuželová s fazetkou [34]

Hrana, pri ktorej dochádza k vzniku trhliny v materiáli, je väčšinou kalená a pokiaľ presnosť výroby už nie je dostatočná, je možné čelo prebrúsiť a pokračovať vo výrobe pri požadovanej kvalite. Upnutie je realizované pomocou zalisovania, guľôčky a skrutky alebo osadením.

Pri stanovovaní rozmerov strižníkov a strižníc je dôležité uvedomiť si, či sa s daným nástrojom budú vytvárať otvory alebo obrysy. Pri vytváraní obrysov sú rozmery výstrižku závislé na strižnici, ktorej rozmer sa pri opotrebení zväčšuje. Je preto užitočné väčšinu alebo celú časť tolerancie dielu preniesť na strižnicu, jej rozmer je možné určiť pomocou vzorca:

$$D_s = (D - P_u)^{+P_s} \text{ [mm]} \quad (2.20)$$

kde: D_s – menovitý rozmer strižnice pri vystrihovaní [mm]

D – menovitý rozmer dielu [mm]

P_u – dovolená úchylka dielu [mm]

P_s – výrobné tolerancie strižnice [mm]

a v závislosti na strižnici aj strižníka:

$$d_k = (D - P_u - v)_{-P_k} \text{ [mm]} \quad (2.21)$$

kde: d_k – menovitý rozmer strižníku pri vystrihovaní [mm]

P_k – výrobná tolerancia strižníku [mm]

Pri dierovaní je naopak dôležitý rozmer strižníka a je dôležité preniesť toleranciu naň:

$$d_{kd} = (d + P_u)_{-P_k} \text{ [mm]} \quad (2.22)$$

kde: d_{kd} – menovitý rozmer strižníku pri dierovaní [mm]

d – menovitý rozmer dierovaného otvoru [mm]

a v závislosti na strižníku aj strižnice:

$$D_{sd} = (d + P_u + v)^{+P_s} \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

kde: D_{sd} – menovitý rozmer strižnice pri dierovaní [mm]

Hrúbka strižnice je závislá od celkovej tvárniacej sily " F_c " a maximálnom dovolenom napätí σ_{DOV} , pričom je zvykom uvažovať koeficient bezpečnosti 1,5. Hrúbku je možné určiť vzťahom:

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_c}{\sigma_{DOV}}} \text{ [mm]} \quad (2.24)$$

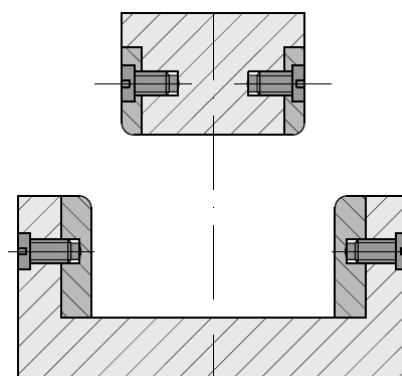
Technické normy, ktoré sa zaoberajú rozmermi a vlastnosťami strižných nástrojov sú uvedené v tab. 5 spoločne s príkladmi bežne používaných materiálov.

Tab. 5 Príklady materiálov používaných u strižníkov a strižníc a technické normy [8]

Súčiastka	Norma	Materiály	Tepelné spracovanie
A Strižník	ČSN ISO 18084	19 191, 19 436	HRC = 61-63
B Strižnica	ČSN ISO 18084	19 191, 19 436	HRC = 61-63

2.4.2 Ohybníky a ohybnice [8], [23], [27], [34]

Podobne ako pri technológii strihu sa ohýbací nástroj skladá z dvoch kusov, a to z ohybnice a ohybníka. Ohybník môže byť konštruovaný ako celistvý alebo delený pre zložitejšie tvary. V oboch prípadoch platí pravidlo minimálnej šírky, ktorá nesmie byť menšia ako hrúbka spracovávaného materiálu. Pre zvýšenie životnosti nástroja je možné hrany, na ktorých dochádza k ohybu, vyvložkovať (obr. 37). Vložky môžu byť z kalenej ocele alebo spekaného karbidu, a sú k nástroju pripevnené skrutkami kolmo na smer pohybu barana.



Obr. 37 Vložkovaný ohýbací nástroj [34]

Ohybnica je nepohyblivá časť nástroja, ktorá sa konštruuje z jedného kusu materiálu alebo delená, teda z viacerých častí. Pri delenom nástroji ide buď o šetrenie drahého materiálu a predĺženie celkovej životnosti, prípadne je vyrábaný diel navrhnutý tak, že jeho výroba by bola celistvým nástrojom zbytočne zložitá. Na veľkosť ohybovej sily z veľkej časti vplyva polomer na hrane ohybnice " R_m " a je preto nutné, aby bol vyrobený čo najpresnejšie. Rovnako je to aj najnamáhanejšia oblasť nástroja, je preto možné využitie vložiek zo spekaných karbidov alebo kalenej ocele, ktoré sú jednoducho vymeniteľné. Veľkosť polomeru ohybnice sa všeobecne určuje ako 2 až 6 násobok hrúbky materiálu.

Pri ohybe do tvaru U je jednostranná vzdialenosť medzi ohybníkom a ohybnicou nazývaná vôľa " v_o ", a jej dodržanie pri konštrukcii nástroja je dôležité pre správne fungovanie procesu. Hodnotu vzdialeností častí nástroja je možné určiť vzťahom:

$$v_o = s_{\max} + s \cdot c_o \text{ [mm]} \quad (2.25)$$

kde: s_{\max} – maximálna hrúbka materiálu [mm]

c_o – súčiniteľ vyjadrujúci vplyv trenia ohýbaného dielu o ohybnicu s ohľadom na dĺžku ohýbaného ramena (tab. 6) [-]

Tab. 6 Hodnoty súčiniteľa vplyvu trenia

Dĺžka ramena [mm]	Hrúbka materiálu [mm]		
	do 0,5	0,5 až 2	2 až 4
20	0,1	0,1	0,08
35	0,15	0,1	0,08
50	0,2	0,15	0,1

Technické normy, ktoré sa zaoberajú rozmermi a vlastnosťami ohýbacích nástrojov sú uvedené v tab. 7 spoločne s príkladmi bežne používaných materiálov.

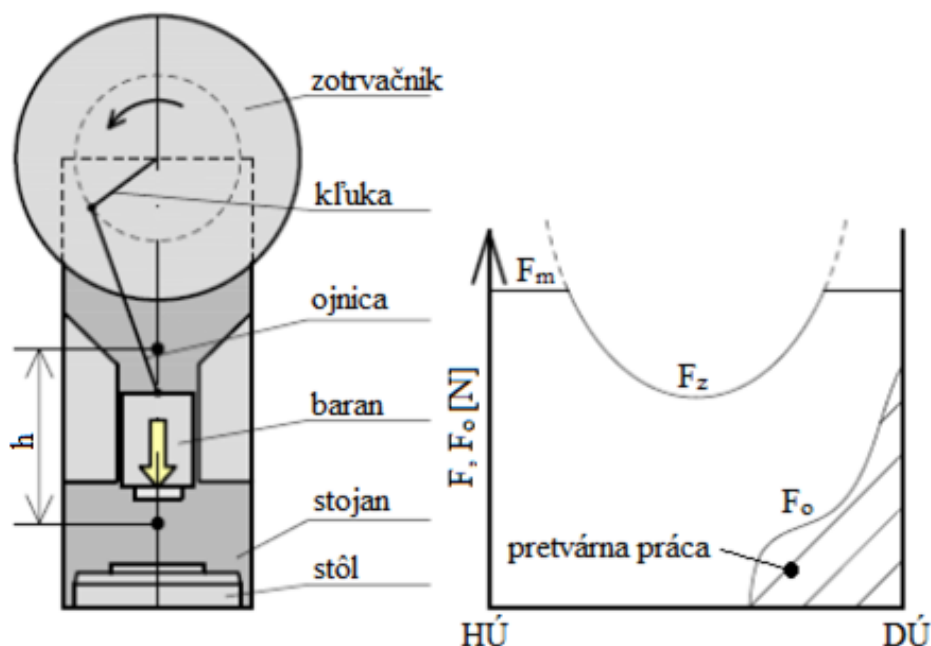
Tab. 7 Príklady materiálov používaných pri jednotlivých dieloch a technické normy [8]

Súčiastka	Norma	Materiály	Tepelné spracovanie
C Ohybník	ČSN 22 7340	19 192, 19 221	HRC = 60-63
D Ohybnica	ČSN 22 7340	19 192, 19 221	HRC = 60-63

2.5 Stroje [26], [27], [36], [37]

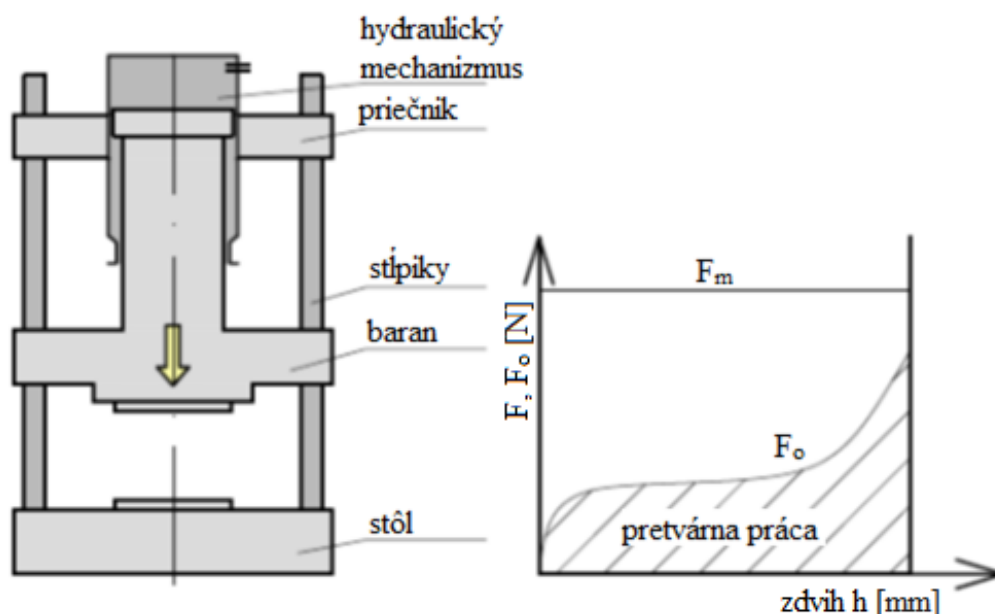
Tvárnici stroj vytvára potrebnú silu, ktorá je prenášaná baranom na nástroj a deformuje spracovávaný materiál. Pri voľbe stroja treba zohľadniť charakteristiky jednotlivých zariadení, zhodnotiť ich vhodnosť a hlavne zabezpečiť, aby sila menovitá " F_m " bola vyššia, ako celková potrebná tvárnica " F_c ". Pri strihaní a ohýbaní sa najčastejšie využívajú stroje s priamočiarym pohybom, a to:

Mechanické lisy - patria medzi najpoužívanejšie tvárnice stroje, čomu vďaka svojej jednoduchosti a obcej dostupnosti. Nevýhodou predstavuje nerovnomerná hodnota prenášanej sily počas pohybu nástroja, kde je maximum dosiahnuté približne pred dosiahnutím dolnej úvrati. Najčastejšie využívanými mechanickými lisami sú kľukové lisy (obr. 38). Ojnica uložená na otáčajúcom kľukovom hriadeľi premieňa rotačný pohyb na priamočiary, pričom zdvih stroja " h " je konštantný. Bežne sa vyrábajú stroje s menovitou silou od 600 až po 10000 kN v prevedeniach ako jedno, dvoj alebo štvorbodé. Ďalej je možné v technickej praxi stretnúť výstredníkové lisy, ktoré využívajú mechanizmus zložený z výstredníkového hriadeľa, ojnice a barana a pracujú na rovnakom princípe ako kľukové lisy. Výhodou je možnosť nastavenia zdvihu barana pomocou natočenia výstredníkového puzdra, pričom sa ale mení jeho rýchlosť a priebeh pôsobiacej sily. Rámy strojov sú väčšinou z oceloliatiny a obecné tvaru C vyrábané buď ako celozvárané, alebo len čiastočne. Pohon býva obvykle umiestnený v hornej alebo dolnej časti, a bežne sa vyrábajú stroje s menovitou silou 250 až 4000 kN. Medzi hlavných výrobcov mechanických lisov patria firmy ŽDAS alebo ŠMERAL.



Obr. 38 Schéma kľukového lisu a jeho priebehu sily [27]

- Hydraulické lisy – princíp hydraulického lisu (obr. 39) vychádza z Pascalovho zákona, ktorý hovorí, že tlak v kvapaline sa šíri rovnomerne všetkými smermi. Ako tlakové médium sa zvyčajne využíva hydraulický olej, prípadne olejová emulzia (voda + olej). Oproti mechanickým lisom je dosahovaná nižšia rýchlosť, ale u najväčších strojov je dosahovaná menovitá sila až 150 000 kN. Medzi ďalšie rozdiely patrí napríklad možnosť zmeny smeru pohybu barana kedykoľvek počas procesu, možnosť dosiahnutia maxima sily v ľubovoľnom mieste zdvihu alebo relatívne zložitejšia konštrukcia zariadenia. Pri plošnom tvárnení nachádzajú tieto stroje využitie hlavne pri spracovávaní hrubších plechov, alebo pri postupových nástrojoch s vyšším počtom operácií. Medzi výrobcov patria napríklad firmy Boschert, Zeulenroda alebo GEKA.



Obr. 39 Schéma hydraulického lisu a jeho priebehu sily [27]

2.6 Technologičnosť strihu a ohybu [2], [27], [38], [39]

Aby bola zabezpečená správna, presná a rýchla výroba požadovaných dielov technológiou strihu alebo ohybu, je odporúčané dodržiavať pri oboch metódach určité zásady, ktoré z väčšej miery pochádzajú z praxe a sú overené. Tieto nemusia byť platné vždy, u niektorých špeciálnych dielov je možné napríklad upraviť konštrukciu nástroja tak, že výroba je stabilná aj pri nedodržaní všetkých zásad.

Pre zaistenie správnej, rýchlej a presnej výroby je odporúčané už pri konštruovaní samotného dielu dodržiavať niekoľko pravidiel:

- vyrábaný diel by mal byť čo najjednoduchší a účelný,
- väčšiu presnosť vyžadovať hlavne u rozmerov, ktoré ovplyvňujú funkciu, nadväzujú na ďalšiu súčasť alebo majú zvláštnu funkciu (napríklad technologickú),
- materiál má byť dobre dostupný vo vhodnom formáte, lacný a vhodný k strihu a ohybu,
- návrh dielu je ovplyvnený požadovanou výrobou za určené obdobie.

Ďalej je nutné uvedomiť si vlastnosti strižného procesu a vhodné využiť, zatiaľ čo nevhodným sa snažiť čo najviac vyhnúť:

- hlavná časť strižnej plochy vzniká lomom,
- pri priebežnom opotrebení nástroja dochádza k zmene jeho rozmeru, čo spôsobuje malé zošikmenie plochy a teda zmenu rozmeru,

- zoslabenie hrúbky polotovaru a vznik zaoblenia na hornej a otrepu na dolnej strane,
- spevnenie materiálu pod povrchom strižnej plochy,
- prehnutie výstrižku a polotovaru vplyvom ohybového momentu od pôsobiaceho nástroja.

Z týchto poznatkov vyplývajú nasledujúce zásady, ktorých dodržiavanie umožní plynulú a bezproblémovú výrobu:

- a) dodržiavať tolerancie vonkajších rozmerov, otvorov a ich vzdialeností podľa tab. 8,

Tab. 8 Presnosť vzdialeností dierovaných otvorov [27]

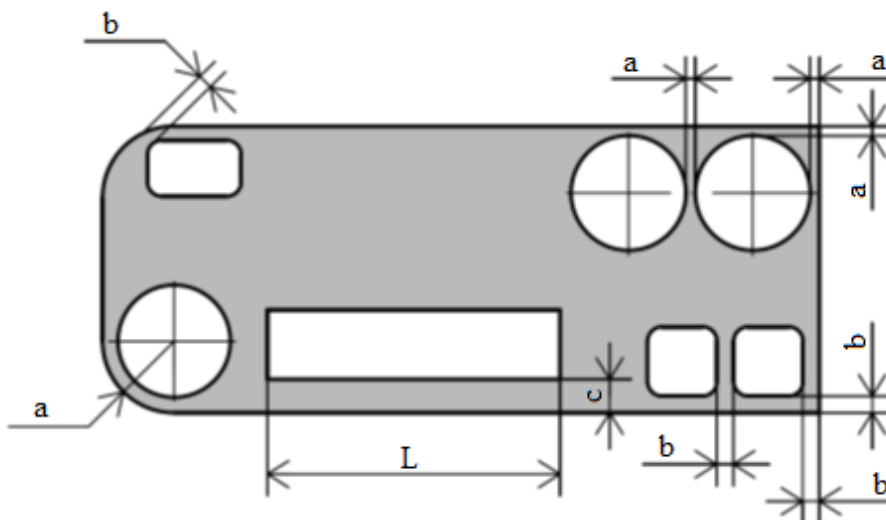
Hrúbka dierovaného plechu [mm]	Vzdialenosť otvorov [mm]					
	do 50		50 až 150		150 až 300	
1 až 2	0,12	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10
2 až 4	0,15	0,06	0,25	0,08	0,35	0,12
4 až 6	0,20	0,08	0,30	0,10	0,40	0,15

- b) uprednostňovať kruhové otvory pred nekruhovými,
 c) nepredpisovať drsnosť a kolmosť strižnej plochy,
 d) pri úzkych krúžkoch a podložkách predpisovať len nutnú rovinnosť,
 e) voliť minimálnu veľkosť otvorov v závislosti od hrúbky a druhu spracovávaného materiálu, konštrukcii a typu strihadla podľa tab. 9, kde "A" predstavuje priemer kruhového otvoru, "B" šírku obdĺžnikového otvoru a výsledne rozmery sú uvádzané ako násobky hrúbky polotovaru,

Tab. 9 Najmenšie odporúčané priemery dierovaných otvorov [27]

Materiál	Obvyklé dierovanie		Dierovanie vedeným strižníkom	
	A	B	A	B
mäkká oceľ	1	0,8	0,35	0,3

- f) dodržiavať vzdialenosti otvorov od kraja výstrižku alebo od iných otvorov podľa tab. 10 a obr. 40,



Obr. 40 Vzdialenosť otvorov od kraja polotovaru a iných otvorov [27]

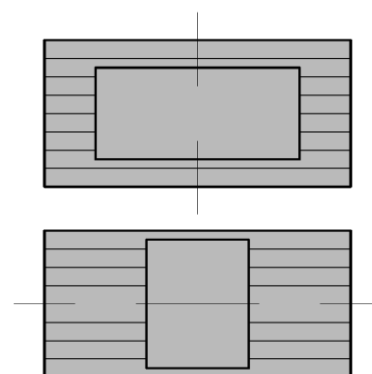
Tab. 10 Hodnoty vzdialenosti otvorov od kraja polotovaru a iných otvorov [27]

Hrúbka plechu [mm]	Rozmer a [mm]	Rozmer b [mm]	Rozmer c [mm]			
			Pre šírku otvoru L [mm]			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
1,6 až 2	3	4	6	10	14	25
2 až 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 až 3,2	4,8	5	8	13	20	28

- g) najmenšia šírka štíhlych výstrižkov alebo šírka vyčnievajúcich častí nemá byť menšia ako 1,5 násobok hrúbky polotovaru,
- h) nepoužívať ostré tvary v rohoch vnútorného obrysu, najmenší polomer zaoblenia hrán 0,5 násobok hrúbky polotovaru,
- i) zabezpečiť správne krokovanie procesu buď externým zariadením, dorazmi, alebo bočným posunovým nožom.

Pre dosiahnutie správneho ohybu je vhodné dodržiavať niektoré zásady, a podobne ako u technológie strihu si uvedomiť obmedzenia tejto technológie, ktorým je nutné sa vyhnúť. Základné zásady sú:

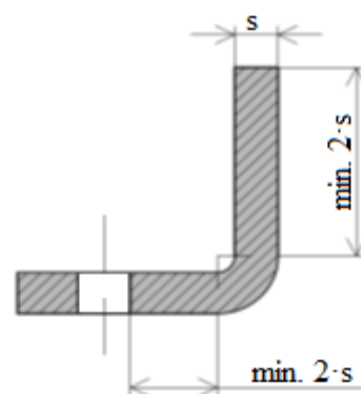
- osu ohybu voliť kolmo na smer vlákien, inak je nutné zväčšiť polomer ohybu (obr. 41),
- pokiaľ je možné neohýbať voľným ohybom, ale využiť kalibráciu,
- pri ohýbaní dielov s rôznymi dĺžkami ramien hrozí posunutie plechu pri tvárniacom procese, preto je vhodné použiť kolíky umiestnené v ohybníku, ktoré tomuto pohybu zabránia a zabezpečia správnu polohu miesta ohybu.



Obr. 41 Správne a nesprávne zvolená os ohybu voči smeru vlákien

Už pri samotnom návrhu dielu a plánovaní jeho výroby je nutné pri výbere technológie ohybu uvažovať nad týmito úpravami:

- pri materiáloch s veľkou anizotropiou počítat so spevňovacími rebrami tak, aby neobmedzovali funkčnosť súčiastky,
- u dielov v tvare U počítat s možnosťou využitia nástroja spôsobujúceho spevnenie materiálu, a prispôbiť tomuto faktoru ďalšie technologické kroky,
- dĺžku ohýbaného ramena uvažovať minimálne ako dvojnásobok hrúbky materiálu, inak môže dôjsť k nežiaducemu ohnutiu ramena (obr. 42),
- pokiaľ je v spracovávanom diele jeden alebo viac otvorov, zabezpečiť ich vzdialenosť od ohybu v minimálnej dĺžke dvojnásobku hrúbky polotovaru (obr. 42),
- vyhýbať sa otvorom v ohybe, dochádza k ich deformácii a spôsobujú nepredvídateľné veľkosti odpruženia.

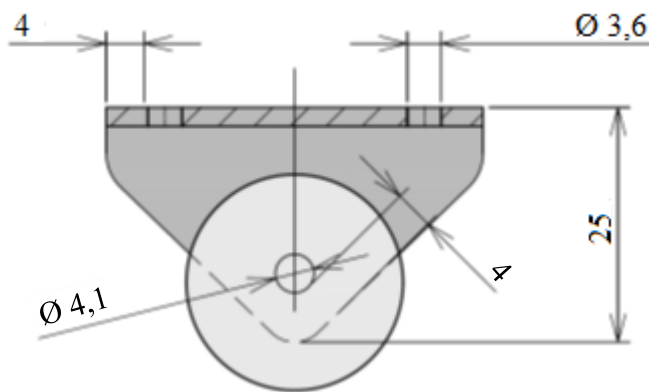


Obr. 42 Odporúčaná vzdialenosť otvorov a dĺžok ramien od ohybu

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Držiak nábytkového kolieska bude vyrábaný z ocele 11 321 s hrúbkou 2 mm pri sériovosti 300 000 kusov ročne. V diele ohnutom do tvaru U sú štyri otvory, kde dva sú určené na priskrutkovanie k nábytku (ďalej len stredné) a dva na uloženie kolieska pomocou nitu (ďalej len bočné) s požadovanou súosovosťou minimálne stupňa IT 10. Okrem tejto geometrickej tolerancie nie sú kladené na diel žiadne vyššie požiadavky, ale mal by spĺňať normu ISO 2768m. Celková akosť povrchu by nemala prevyšovať hodnotu Ra 6,3 tak, aby nedochádzalo k poškodeniu nábytku, alebo zlému nanieseniu pozinkovanej vrstvy.

Pri porovnaní zadaného dielu a technologických požiadaviek správnej výroby pomocou strihu a ohybu vychádza, že vzdialenosť stredných otvorov od okraja obrysu je iba 3 mm, pričom podľa tab. 10 by mala predstavovať minimálne 3,7 mm. Otvory je preto nutné posunúť do správnej vzdialenosti tak, aby nedochádzalo k zabráneniu bezproblémového uchytenia držiaka na nábytok napríklad skrutkovačom. Rovnaký problém nastáva pri bočných otvoroch, ktoré je nutné z pôvodných 3,5 mm od kraja posunúť na vzdialenosť 4 mm. Ako ukazuje obr. 43, po posunutí otvorov do vzdialenosti 4 mm nie je použiteľnosť nijako obmedzená.



Obr. 43 Upravené rozmery držiaku spolu s kolieskom

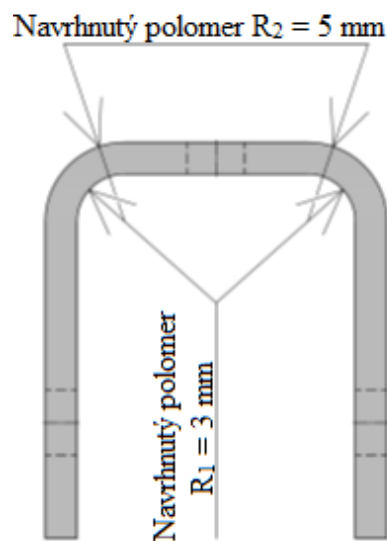
Ďalej je dôležité skontrolovať minimálne a maximálne polomery ohybov a tým sa uistiť, že ohýbací proces bude bezproblémový. Minimálny polomer je overený podľa vzťahu (2.7) a súčiniteľ anizotropie a spevnenia volený v strede intervalu pre mäkkú oceľ, teda $c = 0,7$:

$$R_{\min} = c \cdot s = 0,7 \cdot 2 = 1,4 \text{ mm}$$

a maximálny polomer podľa vzťahu (2.8) s uvažovaným modulom pružnosti rovným $E = 210 \text{ GPa}$:

$$R_{\max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot Re} = \frac{2 \cdot 210 \cdot 10^3}{2 \cdot 235} = 893,62 \text{ mm}$$

Navrhnuté polomery (obr. 44) sú voči vypočítaným vyhovujúce, a je teda možné pristúpiť k prvému kroku, z ktorého vychádza väčšina ďalších výpočtov, a to k správne určeniu dĺžky rozvinu zadaného dielu.



Obr. 44 Navrhnuté polomery

3.1 Rozvinutý tvar dielu

Keďže je zadaný diel ohýbaný, je nutné na začiatok určiť dĺžku rozvinu (obr. 45), ktorá je spolu s ďalšími údajmi dôležitá pre správne určenie potrebnej strižnej sily a vhodného nástrihového plánu. Celkové rozmery dielu sú zadané a je možné určiť dĺžky rovných častí. Pre určenie dĺžok ohnutých úsekov je nutné najskôr určiť súčiniteľ posunutia neutrálnej osi:

$$\frac{R_1}{s} = \frac{3}{2} = 1,5 \quad (3.1)$$

Hodnota x je teda z tab. 3 zvolená ako $x = 0,433$ a polohu neutrálnej osi je možné vypočítať vzťahom (2.3):

$$\rho = R_1 + x \cdot s = 3 + 0,433 \cdot 2 = 3,866 \text{ mm}$$

A ďalej zo vzorca (2.4) dĺžku oboch ohybov:

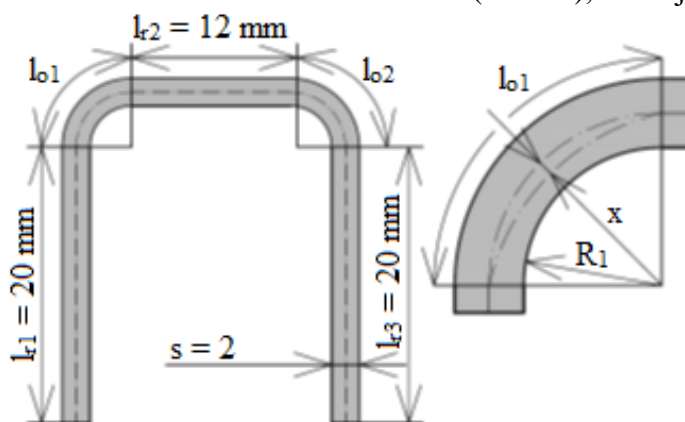
$$\gamma_1 = \gamma_2 = 180 - \alpha_1 = 180 - 90 = 90^\circ \quad (3.2)$$

$$l_{o1} = l_{o2} = \frac{\pi \cdot \gamma_1}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 3,866 = 6,073 \text{ mm}$$

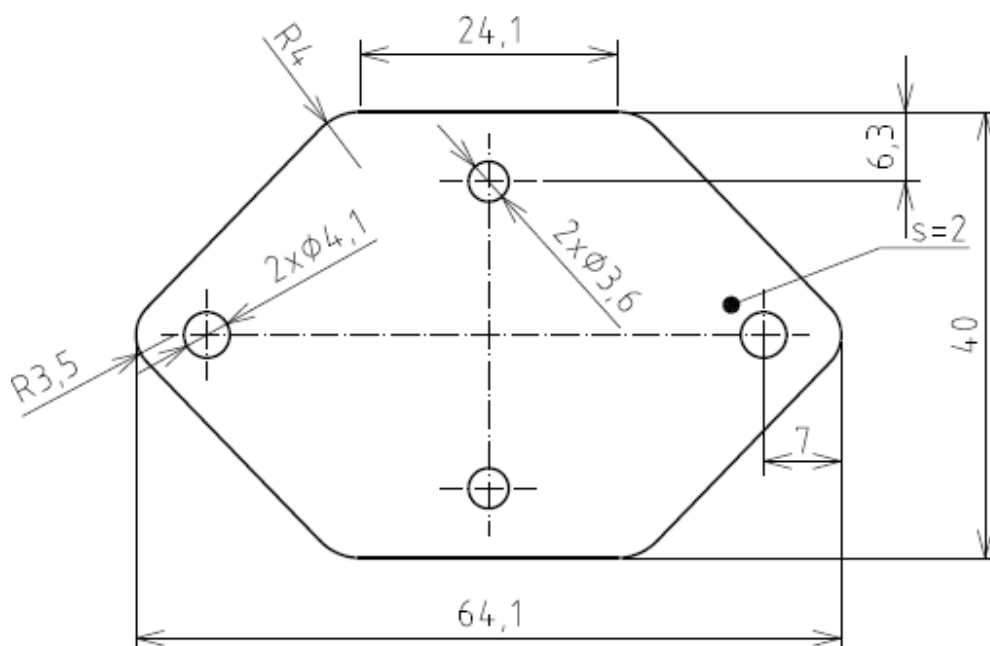
Pri využití schémy na obr. 44 je možné pomocou vzorca (2.5) dopočítať celkovú dĺžku rozvinu:

$$l_c = \sum_{i=1}^3 l_{ri} + \sum_{j=1}^2 l_{oj} = l_{r1} + l_{r2} + l_{r3} + l_{o1} + l_{o2} =$$

$$= 20 + 12 + 20 + 6,073 + 6,073 = 64,146 \text{ mm}$$



Obr. 45 Schéma výpočtu dĺžky rozvinu



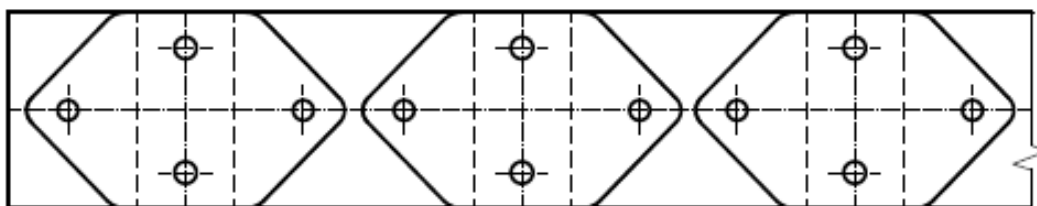
Obr. 46 Rozvinutý tvar držiaku

Vypočítaná celková dĺžka rozvinu (obr. 46) bude zaokrúhlená na hodnotu 64,1 mm pre zjednodušenie plánovania a s prihliadnutím na výrobnú presnosť použitých technológií.

3.2 Voľba rozmiestnenia výstrižkov

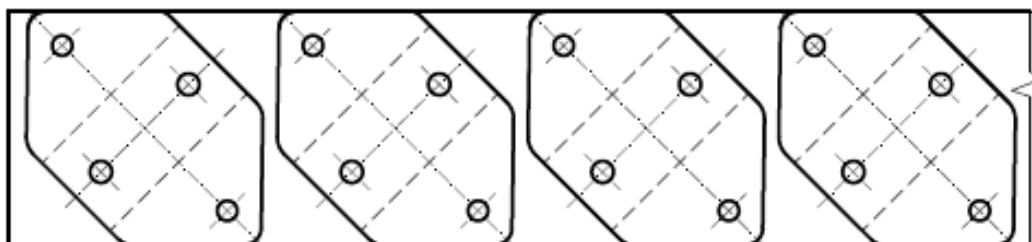
Pri známej dĺžke celkového rozvinu je možné uvažovať o niekoľkých možnostiach uloženia výstrižkov na plechu, ich porovnaní a vyhodnotení najvhodnejšieho. Keďže na riešený diel nie sú kladené vysoké požiadavky na presnosť, je možné uvažovať o výrobe bez odpadu, resp. dlhšia strana polotovaru bude aj okrajom držiaku.

- Možnosť 1 – Prvý variant je priečne usporiadanie (obr. 47), kde sú osi ohybov kolmé na smer pohybu plechu. Pre ohyb plechu je toto riešenie ideálne, keďže vlákna materiálu sú kolmo na os ohybu. Nevýhodou tohto variantu je zložitá konštrukcia nástroja, konkrétne ohybníka, ktorý by bránil pohybu ohnutého dielu v nástroji.



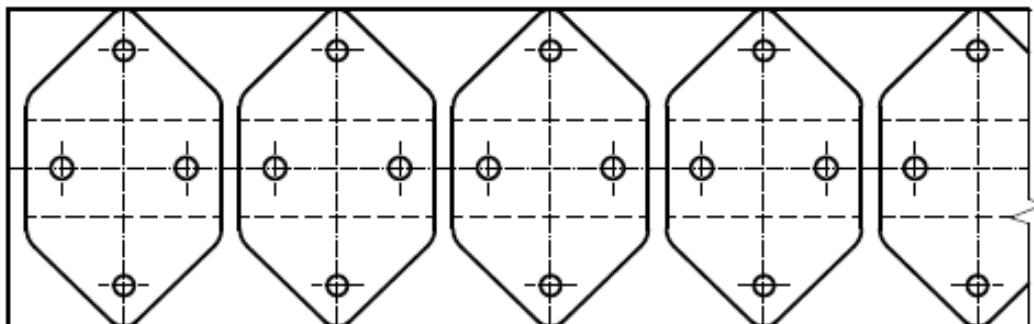
Obr. 47 Priečne usporiadanie

- Možnosť 2 – Ďalší variant je šikmé usporiadanie (obr. 48), kde sú osi ohybov voči smeru pohybu plechu otočené o 45° . Pri tomto riešení, podobne ako pri predchádzajúcom tvorí problém zložitý pohyb dielu.



Obr. 48 Šikmé usporiadanie

- Možnosť 3 – Poslednou možnosťou je pozdĺžne usporiadanie (obr. 49), kde sú osi ohybov paralelné so smerom pohybu plechu. Rovnobežnosť vlákien materiálu a osí ohybu je nevýhodné a je nutné uvažovať dvojnásobné zväčšenie minimálneho polomeru ohybu, ale toto vyvažuje bezproblémový pohyb dielov po ohýbaní.



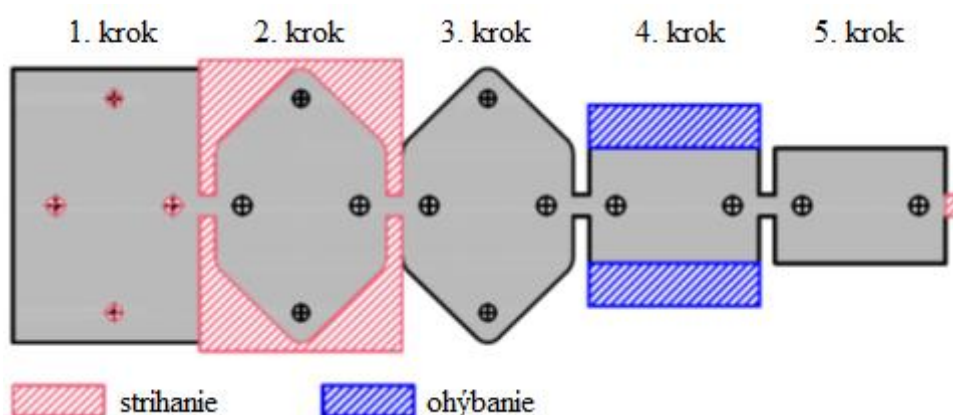
Obr. 49 Pozdĺžne usporiadanie

Po uvážení výhod a nevýhod všetkých troch možností a s prihliadnutím na predpokladaný ďalší postup, bola ako najvhodnejší variant zvolená tretia možnosť rozmiestnenia dielov. Navrhnutý vnútorný polomer je $R_1 = 3 \text{ mm}$, a spĺňa teda požiadavku na dvojnásobok R_{\min} .

3.3 Voľba postupu výroby

Po zvolení rozmiestnenia výstrižkov je možné ďalej uvažovať nad výrobným postupom, kde sa opäť ponúka niekoľko možností, pri ktorých môžeme uvažovať s rôznymi tvarmi a uloženiami nástrojov.

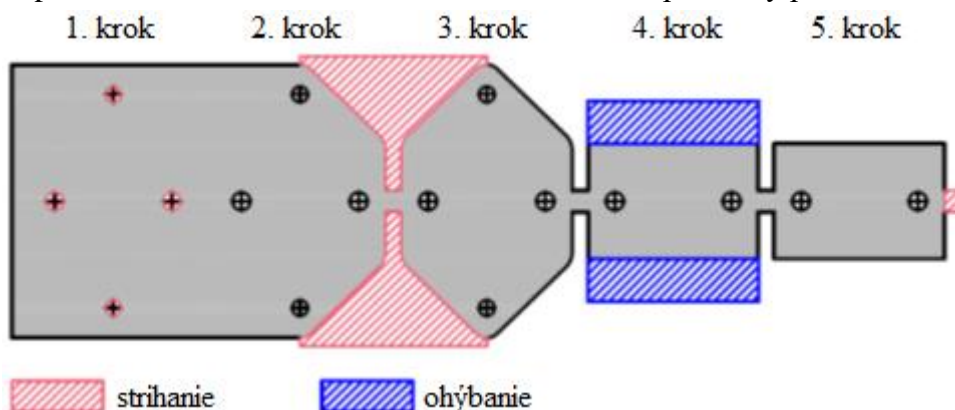
- Možnosť 1 – Táto možnosť sa dá uskutočniť v piatich krokoch (obr. 50). V prvom kroku sú vystrihnuté bočné a stredné otvory. V druhom kroku je vystrihnutý celý obvod rozvinutého držiaku tak, že diel drží v polotovare len pomocou mostíkov na krajoch dielu, ktoré ale nezasahujú do osí ohybu v ďalšom kroku. Tretí krok je prázdny a nasleduje po ňom štvrtý krok, kde dochádza k ohnutiu ramien dielu do tvaru U smerom dole. V poslednom je odstrihnutý mostík a hotový diel je odvedený mimo pracovný priestor.



Obr. 50 Postup výroby – Možnosť 1

Nevýhodou tejto možnosti je zložitý strižník v druhom kroku a jeden prázdny krok pred ohybom.

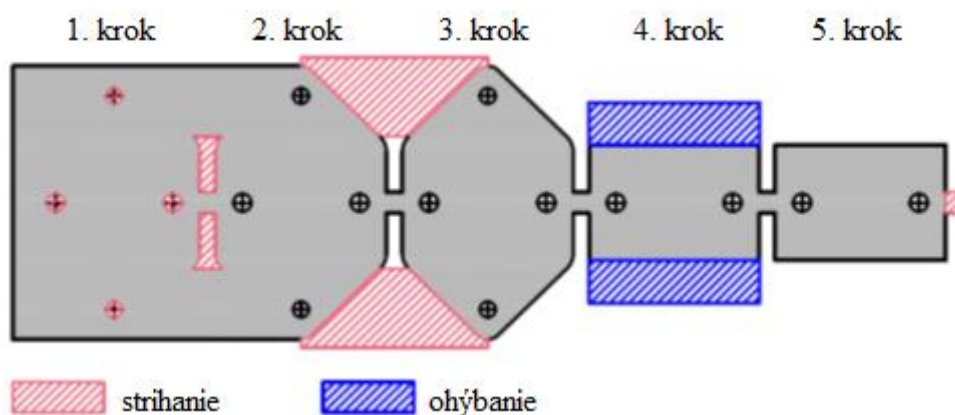
- Možnosť 2 – Druhá možnosť (obr. 51) má opäť päť krokov, kde v prvom dochádza k vystrihnutiu všetkých otvorov. Obrys je vystrihnutý postupne v druhom a treťom kroku jedným nástrojom, ktorý je zosilnený kvôli zvýšeniu tuhosti v ostrých krajoch. V predposlednom kroku je diel ohnutý do tvaru U smerom dole, po čom nasleduje v piatom kroku oddelenie a odvedenie dielu mimo pracovný priestor.



Obr. 51 Postup výroby – Možnosť 2

Výhodou tohto riešenia je bezproblémové upnutie všetkých nástrojov. Nevýhodou predstavuje zložitý obrysový strižník, tentokrát delený na dve časti, v druhom a treťom kroku.

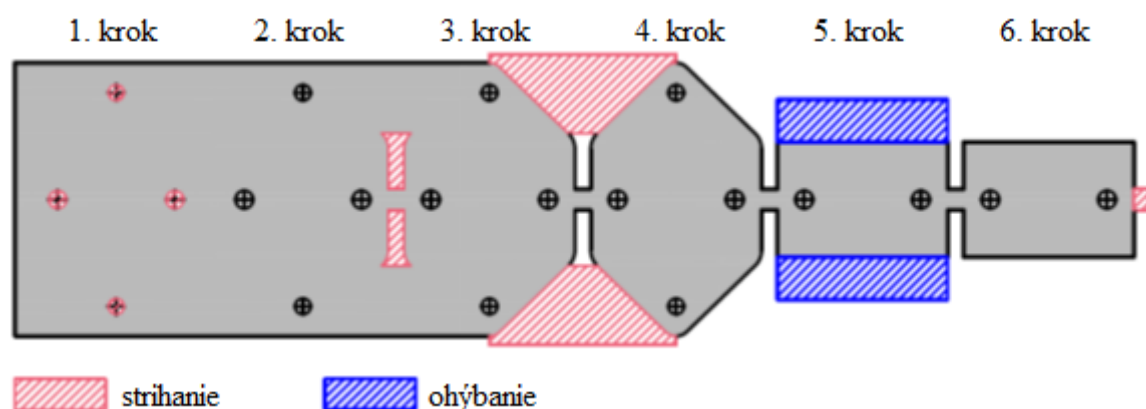
- Možnosť 3 – Táto možnosť (obr. 52) je obdoba predchádzajúcej s rozdielom, že obrysový strižník je rozdelený. V prvom kroku dochádza okrem vytvorenia otvorov rovnako k vystrihnutiu dvoch otvorov okolo mostíka, ktoré tvoria časť obrysu. Strižník v druhom a treťom kroku je o tieto otvory jednoduchší. Štvrtý a piaty krok sú rovnaké ako v možnosti 2.



Obr. 52 Postup výroby – Možnosť 3

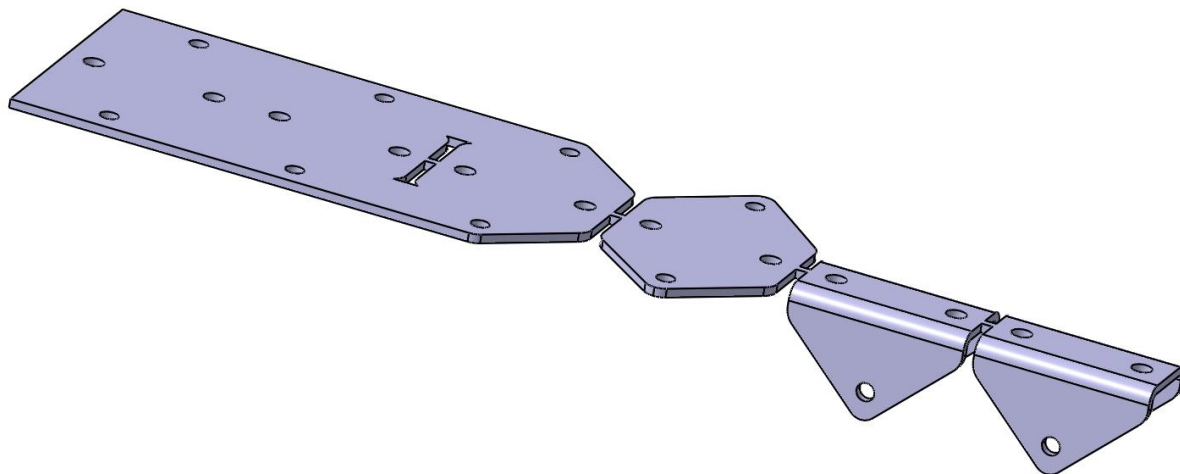
Pri tejto možnosti je tvar najväčšieho strižníka čo najviac zjednodušený a jeho rozdelenie znižuje jeho výrobnú náročnosť. Ďalej je rozšírený mimo plech, kvôli zabráneniu vzniku nežiadúcich deformácií počas tepelného spracovania pri jeho výrobe. Dierovací obrysový strižník medzi prvým a druhým krokom je ale veľmi blízko dierovaciemu, a môže preto nastať problém s upnutím nástrojov.

- Možnosť 4 – Táto možnosť (obr. 53) je podobná predchádzajúcej, s jediným rozdielom a to pridaním voľného kroku, vďaka ktorému bude upnutie strižníkov bezproblémové.



Obr. 53 Postup výroby – Možnosť 4

Po zvážení všetkých výhod a nevýhod jednotlivých možností je zvolený výrobný postup podľa štvrtého variantu. Pre lepší prehľad je na obr. 54 zobrazený 3D model plechu.



Obr. 54 3D model plechu

3.5 Voľba polotovaru [39]

Pri zohľadnení zvoleného výrobného postupu je možné uvažovať pri výrobe držiakov s polotovarom vo forme nastrihaných pruhov z tabúl plechu, alebo pásov plechu odvíjaných zo zvitku. V prvej možnosti je nutné počítať s delením tabúl, napríklad na tabuľových nožniciach, a u pásov s využitím prídavných zariadení ako sú odvíjačky, rovnačky a podávač. Pri ďalšom riešení postupu výroby sa predpokladá, že tieto zariadenia sú k dispozícii.

- Pre správne zvolenie polotovaru je na začiatok nutné určiť základné rozmery polotovaru.
 - Šírka mostíka medzi jednotlivými krokmi:
podľa tab. 2 pre $s = 2$ mm a šírku pásu 50 až 100 mm je zvolené: $e = 3,7$ mm
 - Šírka mostíka medzi jednotlivými krokmi:
podľa tab. 2 pre $s = 2$ mm a šírku pásu 50 až 100 mm je zvolené: $e = 3,7$ mm
 - Šírka pásu:
 $b = l_c = 64,1$ mm
 - Veľkosť kroku:
 $k = l + e = 40 + 3,7 = 43,7$ mm
- Prične delené tabule na pruhy
 - Voľba rozmeru tabule:
rozmery tabule sú zvolené: $š_p \times L_{tp} \times s = 1\,500 \times 3\,000 \times 2$
 - Rozmery nastrihaných pruhov:
šírka: $b = 64,1$ mm
dĺžka $L_t = 1\,500$ mm
 - Počet pruhov plechu z jednej tabule:

$$n_p = \frac{L_{tp}}{b} = \frac{3\,000}{64,1} = 46,8 \text{ pruhov} \quad (3.4)$$

Počet pruhov z jednej tabule je zaokrúhlený na najbližšie nižšie celé číslo, teda 46 pruhov.

- Počet výstrižkov z jedného pruhu:

$$n_{\text{diel}} = \frac{L_t}{k} = \frac{1\,500}{43,7} = 34,32 \text{ výstrižkov} \quad (3.5)$$

Počet výstrižkov z jedného pruhu je zaokrúhlený na najbližšie nižšie celé číslo, teda 34 výstrižkov.

- Počet výstrižkov z jednej tabule:

$$n_{\text{dielc}} = n_p \cdot n_{\text{diel}} = 46 \cdot 34 = 1\,564 \text{ výstrižkov} \quad (3.6)$$

- Využitie polotovaru podľa vzťahu (2.2):

$$k_{\text{mat}} = \frac{s_{\text{diel}} \cdot n_{\text{dielc}}}{L_{\text{tp}} \cdot \check{s}_p} \cdot 100 = \frac{1894,3 \cdot 1\,564}{3\,000 \cdot 1\,500} \cdot 100 = 65,84 \%$$

- Pozdĺžne delenie tabule na pruhy

- Voľba rozmeru tabule:

rozмеры tabule sú zvolené: $\check{s}_p \times L_{\text{tp}} \times s = 1\,500 \times 3\,000 \times 2$

- Rozmery nastrihaných pruhov:

šírka: $b = 64,1 \text{ mm}$

dĺžka $L_t = 3\,000 \text{ mm}$

- Počet pruhov plechu z jednej tabule:

$$n_p = \frac{\check{s}_p}{b} = \frac{1\,500}{64,1} = 23,4 \quad (3.7)$$

Počet pruhov z jednej tabule je zaokrúhlený na najbližšie nižšie celé číslo, teda 23 pruhov.

- Počet výstrižkov z jedného pruhu:

$$n_{\text{diel}} = \frac{L_t}{k} = \frac{3\,000}{43,7} = 68,65 \quad (3.8)$$

Počet výstrižkov z jedného pruhu je zaokrúhlený na najbližšie nižšie celé číslo, teda 68 výstrižkov.

- Počet výstrižkov z jednej tabule:

$$n_{\text{dielc}} = n_p \cdot n_{\text{diel}} = 23 \cdot 68 = 1\,564 \text{ výstrižkov} \quad (3.9)$$

- Využitie polotovaru podľa vzťahu (2.2):

$$k_{\text{mat}} = \frac{s_{\text{diel}} \cdot n_{\text{dielc}}}{L_{\text{tp}} \cdot \check{s}_p} \cdot 100 = \frac{1894,3 \cdot 1\,564}{3\,000 \cdot 1\,500} \cdot 100 = 65,84 \% \quad (3.10)$$

- Pásky plechu zo zvitku

- Voľba rozmeru zvitku:

z katalógu predajcu sú zvolené: šírka $\check{s}_z = 64,1 \text{ mm}$

vnútorný priemer $d_z = 610 \text{ mm}$

vonkajší priemer $D_z = 1\,300 \text{ mm}$

- Hmotnosť zvitku:

$$m_z = \frac{\pi \cdot (D_z^2 - d_z^2)}{4} \cdot \check{s}_z \cdot \rho_{\text{ocel}} = \frac{\pi \cdot (1300^2 - 610^2)}{4} \cdot 64,1 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 520,83 \text{ kg} \quad (3.11)$$

- Dĺžka pásu v zvitku:

$$L_z = \frac{m_z}{\check{s}_z \cdot s \cdot \rho_{\text{ocel}}} = \frac{520,83}{64,1 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 517\,533,31 \text{ mm} \quad (3.12)$$

- Počet výstrižkov v zvitku:

$$n_{\text{dielz}} = \frac{L_z}{k} = \frac{517\,533,31}{43,7} = 11\,842,87 \text{ výstrižkov} \quad (3.13)$$

Počet výstrižkov z jedného zvitku je zaokrúhlený na najbližšie nižšie celé číslo, teda 11 842 výstrižkov.

- Využitie polotovaru podľa vzťahu (2.2):

$$k_{\text{mat}} = \frac{s_{\text{diel}} \cdot n_{\text{dielz}}}{\check{s}_z \cdot L_z} \cdot 100 = \frac{1894,3 \cdot 11\,842}{64,1 \cdot 517\,533,31} \cdot 100 = 67,62 \%$$

Najvyššia hodnota súčiniteľa využitia polotovaru je dosiahnutá pri použití pásu plechu zo zvitku, kde je využitie približne o 1,8 % výhodnejšie ako pri prvej možnosti a rovnako o približne 1,8 % ako u druhej. Pri uvažovaní tohto faktu je ako polotovar pre výrobu držiakov volený pás plechu zo zvitku.

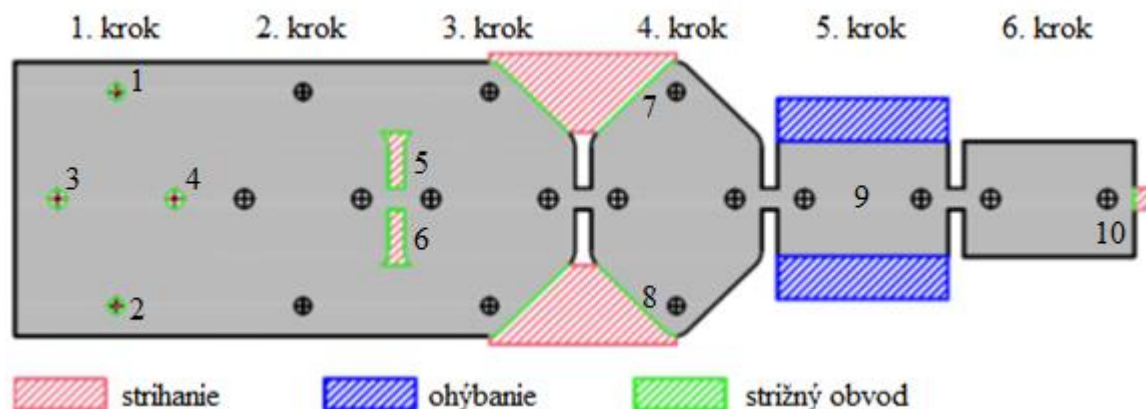
- Potrebný počet zvitkov:

$$n_z = \frac{Q}{n_{\text{dielz}}} = \frac{300\,000}{11\,842} = 25,33 \text{ zvitkov} \quad (3.14)$$

Na výrobu 300 000 kusov držiakov bude potrebných 26 zvitkov.

3.6 Výpočet potrebnej tvárniacej sily a práce

Tvárnici nástroj je zložený z deviatich strižných a jednej ohýbacej časti (obr.55). Pre správne nadimenzovanie celého nástroja je nutné poznať tvárnacie sily na každej časti.



Obr. 55 Usporiadanie nástroja

- Strižná časť - pre výpočet potrebných strižných síl s využitím vzťahu (2.10) je potrebné poznať dĺžky strižných obvodov, ktoré sú v tejto práci určené pomocou programu AutoCAD.

- Dierovacie strižníky 1 a 2:

$$F_{s1} = F_{s2} = n \cdot O_1 \cdot s \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 12,88 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 380 = 11\,746,56 \text{ N}$$

- Dierovacie strižníky 3 a 4:

$$F_{s3} = F_{s4} = n \cdot O_3 \cdot s \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 11,31 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 380 = 10\,314,72 \text{ N}$$

- Dierovacie strižník 5 a 6:

$$F_{s5} = F_{s6} = n \cdot O_5 \cdot s \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 37,32 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 380 = 34\,035,84 \text{ N}$$

- Obrysové strižníky 7 a 8:

$$F_{s7} = F_{s8} = n \cdot O_7 \cdot s \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 25,07 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 380 = 22\,863,84 \text{ N}$$

- Odstrihovací strižník 10:

$$F_{s10} = n \cdot O_{10} \cdot s \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 380 = 9\,120 \text{ N}$$

- Celková strižná sila:

$$F_{sc} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + F_{s6} + F_{s7} + F_{s8} + F_{s10} = 11\,746,56 + 11\,746,56 + 10\,314,72 + 10\,314,72 + 34\,035,84 + 34\,035,84 + 22\,863,84 + 22\,863,84 + 9\,120 = 167\,041,92 \text{ N} \quad (3.15)$$

Potrebná strižná sila je po zaokrúhlení 167 042 N.

- Strižná práca podľa vzťahu (2.11):

$$A_s = \lambda \cdot F_{s \max} \cdot s = 0,65 \cdot 167\,042 \cdot 0,002 = 217,15 \text{ J}$$

Potrebná strižná práca je po zaokrúhlení 217 J.

- Ohýbacia časť – pri výpočte ohýbacej sily a práce sa uvažovaná šírka dielu b rovná 40 mm a hĺbka ponorenia ohybníka h rovná 5 mm.

- Ohýbacia sila podľa vzorca (2.12):

$$F_{ou} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R_1 + s} \cdot (1 + 7 \cdot f) = \frac{40 \cdot 2^2 \cdot 235}{3 + 2} \cdot (1 + 7 \cdot 0,15) = 15\,416 \text{ N}$$

- Ohýbacia práca podľa vzorca (2.13):

$$A_{ou} = m \cdot F_{ou \max} \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 15\,416 \cdot 0,005 = 25,69 \text{ J}$$

Potrebná ohýbacia práca je po zaokrúhlení 26 J.

- Celková sila a práca – určené ako súčty všetkých síl a prác

- Celková sila:

$$F_c = F_{sc} + F_{ou} = 167\,042 + 15\,416 = 182\,458 \text{ N} \quad (3.16)$$

- Celková práca:

$$A_c = A_s + A_{ou} = 217 + 26 = 243 \text{ J} \quad (3.17)$$

3.6.1 Kontrola funkčných častí nástroja [40]

Pre správne zabezpečenie funkcie nástroje je nutné poznať kritické hodnoty, pri ktorých dochádza k porušeniu alebo priamo k jeho znefunkčneniu.

- Kontrola strižníkov na vzper - po výpočte strižných síl na jednotlivých strižníkoch je možné vypočítať kritickú dĺžku voľných častí strižníka, pri ktorej by došlo k ich nežiaducemu prehnutiu. Táto kontrola sa týka prvých štyroch dierovacích strižníkov a posledného odstrihovacieho. Kontrolu je možné urobiť pomocou vzorcov (2.17), (2.18) a (2.19):

- Dierovacie strižníky 1 a 2:

$$I_{d1} = I_{d2} = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 4,1^4}{64} = 13,87 \text{ mm}^4$$

$$l_{k1} = l_{k2} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I_{d1}}{F_{s1} \cdot \mu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 13,87}{11\,746,56 \cdot 1,5}} = 32,23 \text{ mm}$$

- Dierovacie strižníky 3 a 4:

$$I_{d3} = I_{d4} = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3,6^4}{64} = 8,24 \text{ mm}^4$$

$$l_{k3} = l_{k4} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I_{d3}}{F_{s3} \cdot \mu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 8,24}{10\,314,72 \cdot 1,5}} = 26,51 \text{ mm}$$

- Odstrihovací strižník 10:

$$I_{o10} = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{5 \cdot 3,7^3}{12} = 21,11 \text{ mm}^4$$

$$l_{k10} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot I_{o10}}{F_{s10} \cdot \mu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 21,11}{9\,120 \cdot 1,5}} = 45,12 \text{ mm}$$

Pri predpokladanej hĺbke ponorenia ohybníka, sú vypočítané hodnoty dostatočné a nie je potrebné nástroj konštruovať so zosilnenými strižníkmi.

- Kontrola strižníkov na otláčenie - vzhľadom k veľkosti plochy strižníkov, je dôležité posúdiť prvých šesť a posledný strižník na otláčenie podľa vzťahu (2.16). Obrysové strižníky sú dostatočne veľké, a nie je predpoklad na prekročenie dovoleného napätia $\sigma_{DOV} = 180 \text{ MPa}$.

- Dierovacie strižníky 1 a 2:

$$\sigma_{o1} = \sigma_{o2} = \frac{F_{s1}}{S_1} = \frac{11\,746,56}{13,2} = 889,89 \text{ MPa}$$

- Dierovacie strižníky 3 a 4:

$$\sigma_{o3} = \sigma_{o4} = \frac{F_{s3}}{S_3} = \frac{10\,314,72}{10,18} = 1\,013,23 \text{ MPa}$$

- Odstrihovací strižník 10:

$$\sigma_{o10} = \frac{F_{s10}}{S_{10}} = \frac{9\,120}{18,5} = 492,97 \text{ MPa}$$

Na základe výsledkov, kde pri každom kontrolovanom strižníku dochádza k prekročeniu dovoleného napätia, bude nástroj konštruovaný s opornou doskou.

- Kontrola hrúbky strižnice - pri výpočte podľa vzorca (2.24) sa uvažuje obojstranne podopretá obdĺžniková strižnica a maximálne dovolené namáhanie v ohybe je volené ako $\sigma_{DOV} = 400 \text{ MPa}$.

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_c}{\sigma_{DOV}}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 182\,458}{400}} = 26,16 \text{ mm}$$

S prihliadnutím k vyrábaným hrúbkam strižníc je pre konštrukciu uvažovaná hrúbka 28 mm.

3.7 Určenie rozmerov funkčných častí nástroja [40]

- Strižná vôľa - vo výpočte podľa vzťahu (2.1) je na základe prílohy 1 pri strednom stupni strihu zvolený koeficient $c_s = 0,01$

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c_s \cdot 2 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot \sqrt{304} = 0,22 \text{ mm}$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ MPa} \quad (3.18)$$

- Ohybová vôľa - na základe normy ČSN EN 10149 je možné uvažovať odchýlku hrúbky polotovaru $+0,035 \text{ mm}$, takže maximálna hrúbka polotovaru je $s_{\max} = 2,035 \text{ mm}$. Súčiniteľ c_o má vzhľadom na dĺžku ohýbaných ramien a hrúbku polotovaru hodnotu 0,1. Výpočet podľa vzorca (2.25):

$$v_o = s_{\max} + s \cdot c_o = 2,035 + 2 \cdot 0,1 = 2,24 \text{ mm}$$

- Tolerancie strižných nástrojov - keďže má vystrihovaný diel predpísané tolerancie stupňa IT 10, zodpovedajúca presnosť nástroja je na úrovni IT 6. V tejto presnosti sú vyrábané aj kruhové dierovacie nástroje firmy Ramseier. Výpočty tolerancií strižných častí sú realizované podľa vzťahov (2.20), (2.21), (2.22) a (2.23).

- Dierovacie strižníky 1 a 2 (obr. 56):

menovitý rozmer otvoru:

$$d_1 = d_2 = 4,1 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu:

$$P_{u1} = P_{u2} = 0,048 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižníka:

$$P_{k1} = P_{k2} = 0,008 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižnice:

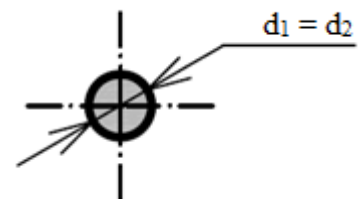
$$P_{s1} = P_{s2} = 0,008 \text{ mm}$$

rozmer strižníka:

$$d_{kd1} = d_{kd2} = (d_1 + P_{u1})_{-P_{k1}} = (4,1 + 0,048)_{-0,008} = 4,148_{-0,008} \text{ mm}$$

rozmer strižnice:

$$\begin{aligned} D_{sd1} = D_{sd2} &= (d_1 + P_u + v)^{+P_{s1}} = \\ &= (4,1 + 0,048 + 0,22)^{+0,008} = 4,368^{+0,008} \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr. 56 Prvý a druhý strižník

- Dierovacie strižníky 3 a 4 (obr. 57):

menovitý rozmer otvoru:

$$d_3 = d_4 = 3,6 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu:

$$P_{u3} = P_{u4} = 0,048 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižníka:

$$P_{k3} = P_{k4} = 0,008 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižnice:

$$P_{s3} = P_{s4} = 0,008 \text{ mm}$$

rozmer strižníka:

$$d_{kd3} = d_{kd4} = (d_3 + P_{u3})_{-P_{k3}} = (3,6 + 0,048)_{-0,008} = 3,648_{-0,008} \text{ mm}$$

rozmer strižnice:

$$\begin{aligned} D_{sd3} = D_{sd4} &= (d_3 + P_{u3} + v)^{+P_{s3}} = \\ &= (3,6 + 0,048 + 0,22)^{+0,008} = 3,868^{+0,008} \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dierovacie strižník 5 a 6 (obr. 58) - výrobca dodáva aj nekruhovú, teda obdĺžnikovú alebo rôzne tvarovanú strižníky a strižnice, pri ktorých predpisuje toleranciu $\pm 0,01 \text{ mm}$ v oboch smeroch. Rozmery preto budú:

prvý menovitý rozmer v smere a:

$$a_{51} = a_{61} = 6,75 \text{ mm}$$

druhý menovitý rozmer v smere a:

$$a_{52} = a_{62} = 3,7 \text{ mm}$$

menovitý rozmer v smere b:

$$b_5 = b_6 = 13,02 \text{ mm}$$

menovitý rozmer polomeru zaoblenia R:

$$R_5 = R_6 = 5 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka prvého rozmeru v smere a:

$$P_{ua51} = P_{ua61} = 0,058 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka druhého rozmeru v smere a:

$$P_{ua52} = P_{ua62} = 0,048 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu v smere b:

$$P_{ub5} = P_{ub6} = 0,070 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu v polomere R:

$$P_{uR5} = P_{uR6} = 0,048 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižníka:

$$P_{k5} = P_{k6} = 0,01 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižnice:

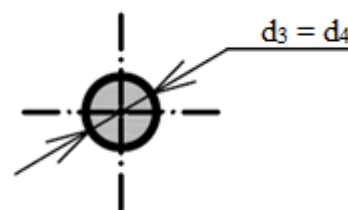
$$P_{s5} = P_{s6} = 0,01 \text{ mm}$$

prvý rozmer strižnice v smere a:

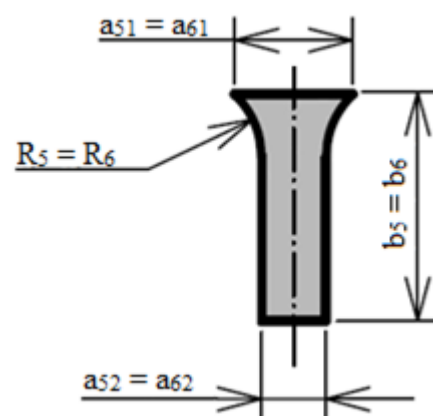
$$a_{s51} = a_{s61} = (a_{51} - P_{ua51})^{+P_{s5}} = (6,75 - 0,058)^{+0,01} = 6,692^{+0,01} \text{ mm}$$

prvý rozmer strižníka v smere a:

$$\begin{aligned} a_{k51} = a_{k61} &= (a_{51} - P_{ua51} - v)_{-P_{k5}} = \\ &= (6,75 - 0,058 - 0,22)_{-0,01} = 6,472_{-0,01} \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr. 57 Tretí a štvrtý strižník



Obr. 58 Piaty a šiesty strižník

druhý rozmer strižnice v smere a:

$$a_{s52} = a_{s62} = (a_{52} - P_{ua52})^{+P_{s5}} = (3,7 - 0,048)^{+0,01} = 3,652^{+0,01} \text{ mm}$$

druhý rozmer strižníka v smere a:

$$\begin{aligned} a_{k52} &= a_{k62} = (a_{52} - P_{ua52} - v)_{-P_{k5}} = \\ &= (3,7 - 0,048 - 0,22)_{-0,01} = 3,43_{-0,01} \text{ mm} \end{aligned}$$

rozmer strižnice v smere b:

$$b_{s5} = b_{s6} = (b_5 - P_{ub5})^{+P_{s5}} = (13,02 - 0,048)^{+0,01} = 12,972^{+0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižníka v smere b:

$$\begin{aligned} b_{k5} &= b_{k6} = (b_5 - P_{ub5} - v)_{-P_{k5}} = \\ &= (13,02 - 0,070 - 0,22)_{-0,01} = 12,73_{-0,01} \text{ mm} \end{aligned}$$

rozmer strižnice v polomere R:

$$R_{s5} = R_{s6} = (R_5 - P_{uR5})^{+P_{s5}} = (5 - 0,048)^{+0,01} = 4,952^{+0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižníka v polomere R:

$$\begin{aligned} R_{k5} &= R_{k6} = (R_5 - P_{uR5} - v)_{-P_{k5}} = \\ &= (6,75 - 0,058 - 0,22)_{-0,01} = 6,47_{-0,01} \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dierovacie strižníky 7 a 8 (obr. 59):

prvý menovitý rozmer v smere a:

$$a_{71} = a_{81} = 43,82 \text{ mm}$$

druhý menovitý rozmer v smere a:

$$a_{72} = a_{82} = 6,75 \text{ mm}$$

menovitý rozmer v smere b:

$$b_7 = b_8 = 16,53 \text{ mm}$$

menovitý rozmer polomeru zaoblenia R:

$$R_7 = R_8 = 3,5 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka prvého rozmeru v smere a:

$$P_{ua71} = P_{ua81} = 0,1 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka druhého rozmeru v smere a:

$$P_{ua72} = P_{ua82} = 0,058 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu v smere b:

$$P_{ub7} = P_{ub8} = 0,070 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu v polomere R:

$$P_{uR7} = P_{uR8} = 0,048 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižníka:

$$P_{k7} = P_{k8} = 0,01 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižnice:

$$P_{s7} = P_{s8} = 0,01 \text{ mm}$$

prvý rozmer strižnice v smere a:

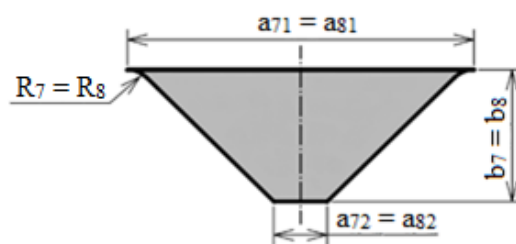
$$a_{s71} = a_{s81} = (a_{71} - P_{ua71})^{+P_{s7}} = (43,82 - 0,1)^{+0,01} = 43,72^{+0,01} \text{ mm}$$

prvý rozmer strižníka v smere a:

$$\begin{aligned} a_{k71} &= a_{k81} = (a_{71} - P_{ua71} - v)_{-P_{k7}} = \\ &= (43,82 - 0,1 - 0,22)_{-0,01} = 43,5_{-0,01} \text{ mm} \end{aligned}$$

druhý rozmer strižnice v smere a:

$$a_{s72} = a_{s82} = (a_{72} - P_{ua72})^{+P_{s7}} = (6,75 - 0,058)^{+0,01} = 6,692^{+0,01} \text{ mm}$$



Obr. 59 Siedmi a ôsmi strižník

druhý rozmer strižníka v smere a:

$$a_{k72} = a_{k82} = (a_{72} - P_{ua72} - v)_{-P_{k7}} = \\ = (6,75 - 0,058 - 0,22)_{-0,01} = 6,472_{-0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižnice v smere b:

$$b_{s7} = b_{s8} = (b_7 - P_{ub7})^{+P_{s7}} = (16,53 - 0,070)^{+0,01} = 16,46^{+0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižníka v smere b:

$$b_{k7} = b_{k8} = (b_7 - P_{ub7} - v)_{-P_{k7}} = \\ = (16,53 - 0,070 - 0,22)_{-0,01} = 16,24_{-0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižnice v polomere R:

$$R_{s7} = R_{s8} = (R_7 - P_{uR7})^{+P_{s7}} = (3,5 - 0,048)^{+0,01} = 3,452^{+0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižníka v polomere R:

$$R_{k7} = R_{k8} = (R_7 - P_{uR7} - v)_{-P_{k7}} = \\ = (3,5 - 0,048 - 0,22)_{-0,01} = 3,232_{-0,01} \text{ mm}$$

- Odstrihovací strižník 10 (obr. 60):

menovitý rozmer v smere a:

$$a_{10} = 3,7 \text{ mm}$$

menovitý rozmer v smere b:

$$b_{10} = 5 \text{ mm}$$

dovolená odchýlka dielu v oboch smeroch:

$$P_{u10} = 0,040 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižníka:

$$P_{k10} = 0,01 \text{ mm}$$

výrobná tolerancia strižnice:

$$P_{s10} = 0,01 \text{ mm}$$

rozmer strižníka v smere a:

$$a_{k10} = (a_{10} + P_{u10})_{-P_{k10}} = (3,7 + 0,040)_{-0,01} = 3,74_{-0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižnice v smere a:

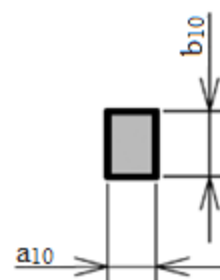
$$a_{s10} = (a_{10} + P_{u10} + v)^{+P_{s10}} = (3,7 + 0,040 + 0,22)^{+0,01} = 3,96^{+0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižníka v smere b:

$$b_{k10} = (b_{10} + P_{u10})_{-P_{k10}} = (5 + 0,040)_{-0,01} = 5,04_{-0,01} \text{ mm}$$

rozmer strižnice v smere b:

$$b_{s10} = (b_{10} + P_{u10} + v)^{+P_{s10}} = (5 + 0,040 + 0,22)^{+0,01} = 5,26^{+0,01} \text{ mm}$$



Obr. 60 Desiaty strižník

- Určenie odpruženia - veľkosť odpruženia je možné vypočítať pomocou vzorca (2.29), hodnota súčiniteľa k_u je zvolený ako 0,98 podľa prílohy 2.

$$\text{tg } \beta_U = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_u \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{9,24}{0,98 \cdot 2} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} = 3,96 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \beta = 0,23^\circ$$

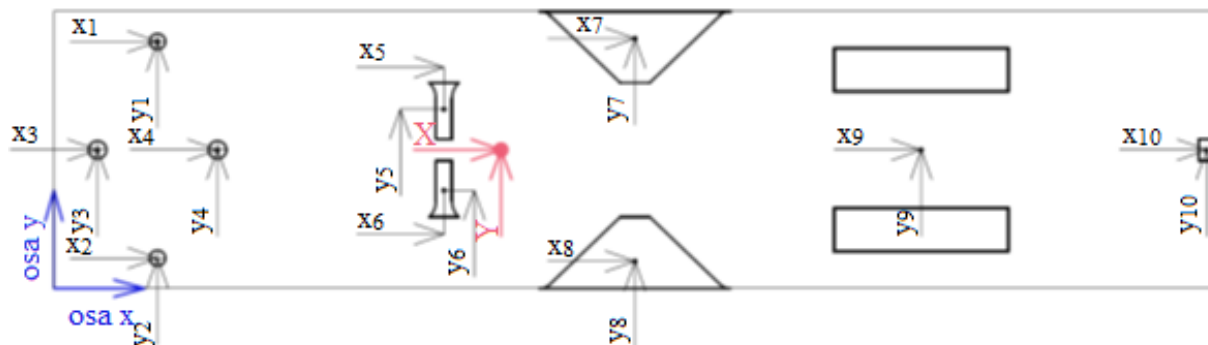
$$l_u = R_m + R_1 + v_o = 4 + 3 + 2,24 = 9,24 \text{ mm} \quad (3.19)$$

$$R_m = (2 \div 6) \cdot s = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mm} \quad (3.20)$$

Uhol odpruženia je $0,23^\circ$ a pri takto malej hodnote je možné zanedbať celkové odpruženie.

3.8 Pôsobisko strižných síl a umiestnenie stopky

Pre správne určenie polohy stopky je nutné poznať polohu ťažiska (obr. 61) pôsobiacich síl v nástroji. Toto ťažisko bude určené výpočtovo, pomocou vzťahov (2.14) a (2.15) za pomoci programu AutoCAD, ktoré určí polohu ťažiska piateho dierovacieho a desiateho odstihovacieho strižníku. Polohy jednotlivých pôsobísk tvárniacich síl sú v tabuľke 11.



Obr. 61 Určenie miesta ťažiska tvárniacich síl

Tab. 11 Polohy jednotlivých pôsobísk tvárniacich síl

Nástroj	Poloha v ose x_i [mm]	Poloha v ose y_i [mm]	Sila [N]
1	23,76	57,1	11 746,56
2	23,76	7	11 746,56
3	10	32,05	10 314,72
4	37,52	32,05	10 314,72
5	89,5	41,43	34 035,84
6	89,5	22,67	34 035,84
7	133,32	57,82	22 863,84
8	133,32	6,28	22 863,84
9	198,99	32,05	15 416
10	264,54	32,05	9 120

$$\begin{aligned}
 X = \sum_{i=1}^{10} \frac{F_i \cdot x_i}{F_{xi}} &= \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + \dots + F_{10} \cdot x_{10}}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_{10}} = \frac{11\,746,56 \cdot 23,76 +}{11\,746,56 +} \\
 &+ 11\,746,56 \cdot 23,76 + 10\,314,72 \cdot 10 + 10\,314,72 \cdot 37,52 + 34\,035,84 \cdot 89,5 + \\
 &+ 11\,746,56 + 10\,314,72 + 10\,314,72 + 34\,035,84 + \\
 &+ 34\,035,84 \cdot 89,5 + 22\,863,84 \cdot 133,32 + 22\,863,84 \cdot 133,32 + 15\,416 \cdot 198,99 + \\
 &+ 34\,035,84 + 22\,863,84 + 22\,863,84 + 15\,416 + \\
 &+ 9\,120 \cdot 264,54 \\
 &+ 9\,120 = 102,59 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{10} F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{10} F_i} = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + \dots + F_{10} \cdot y_{10}}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_{10}} = \frac{8\,882,88 \cdot 57,1 + 8\,882,88 \cdot 7 + 12\,895,68 \cdot 32,05 + 12\,865,68 \cdot 32,05 + 34\,035,84 \cdot 41,43 + 8\,882,88 + 12\,895,68 + 12\,895,68 + 34\,035,84 + 34\,035,84 \cdot 22,67 + 22\,863,84 \cdot 57,82 + 22\,863,84 \cdot 6,28 + 15\,416 \cdot 32,05 + 34\,035,84 + 22\,863,84 + 22\,863,84 + 15\,416 + 9\,120 \cdot 32,05}{8\,882,88 + 12\,895,68 + 12\,895,68 + 34\,035,84 + 34\,035,84 + 22\,863,84 + 22\,863,84 + 15\,416 + 9\,120} = 32,05 \text{ mm}$$

Poloha ťažiska tvárniacich síl a poloha stopky má teda súradnice od okraja plechu $T = [102,59 ; 32,05]$.

3.9 Voľba tvárniaceho stroja [42], [43]

Pre správne zvolenie vhodného stroja je najdôležitejším faktorom celková potrebná tvárniaca sila, ktorá nesmie prekročiť nominálnu hodnotu stroja. Ako najvhodnejší stroj je zvolený výstredníkový lis českej značky Šmeral S 160 E (obr. 62) s menovitou silou 1600 kN, pričom maximálna požadovaná sila je približne 232 kN.

Tento stroj má stojan tvaru C a je vhodný na odstrihovanie výronkov zápustkových výkovekov, plytké ťahanie, ale hlavne pre dierovacie a ohýbacie operácie pri spracovávaní pásov plechu zo zvitku. Stroj je ovládaný riadiacim systémom Siemens, čo umožňuje jeho prevádzku bez aktívneho zapojenia obsluhy. Bezpečnosť prevádzky je zabezpečená strižnou poistkou proti okamžitému preťaženiu a hydraulickým vyvažovaním barana, čo umožňuje označenie stroja značkou CCZ. Základné technické údaje stroja ukazujú tab. 12.

Tab. 12 Technická špecifikácia stroja Šmeral S 160 E

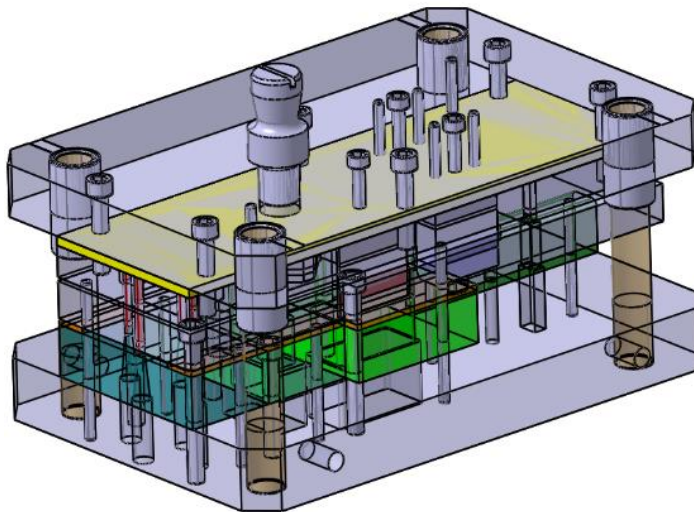
Tvárniaca sila [kN]	1600
Zovretie [mm]	500
Vyloženie [mm]	400
Upínacia plocha stolu [mm]	1 200 x 800
Upínacia plocha barana [mm]	860 x 520
Zdvih barana [mm]	20 - 160
Počet zdvihov [min^{-1}]	60
Prestavovanie barana [mm]	100
Celkový inštalovaný výkon [kW]	15
Rozmery stroja v x š x h [m]	3,3 x 1,2 x 2,3



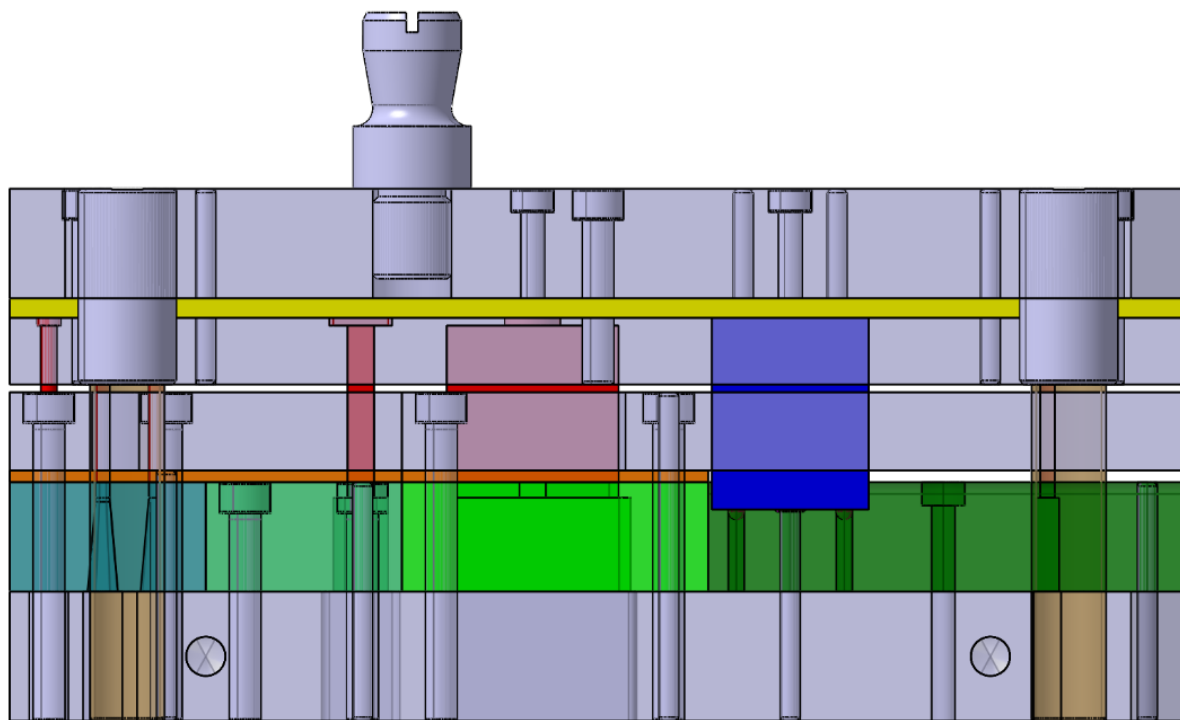
Obr. 62 Výstredníkový lis Šmeral S 160 E [43]

3.10 Popis a funkcie nástroja [44]

Výroba zadaného dielu bude prebiehať v šiestich krokoch, ktoré budú realizované v postupovom združenom nástroji (obr. 63), ktorý pomocou strihania a ohýbania vytvorí požadovaný tvar. Polotovár v tvare zvitku umiestnený na odvíjacom zariadení je spojený s rovnacím a podávacím zariadením a je vsúvaný medzi vodiace lišty. Krok na podávači je nastavený na hodnotu 43,7 mm. Pri pracovnom pohybe hornej časti nástroja (obr. 64) o maximálnu hodnotu 13 mm dochádza najskôr k zaisteniu polohy pomocou hladáčikov. Následne dosadá pružinový pridržovač, ktorý zabezpečí, aby plech nemal tendenciu meniť svoju polohu vo vertikálnom smere počas ohýbania ramien. Strižné nástroje dosadajú na plech v momente, keď sú ohýbadlá ponorené v hĺbke 7 mm a strihajú materiál. Maximálne ponorenie strižníkov do strižníc je 0,1 mm tak, aby nedochádzalo k ich poškodeniu, ale zároveň, aby bol strih dokončený. Odpad odchádza cez strižnice a základovú dosku mimo pracovný priestor. Hotový diel je po odstrihnutí mostíka vedený ohýbníkom a vytláčaný ďalším dielom k pádu do pripravenej palety.

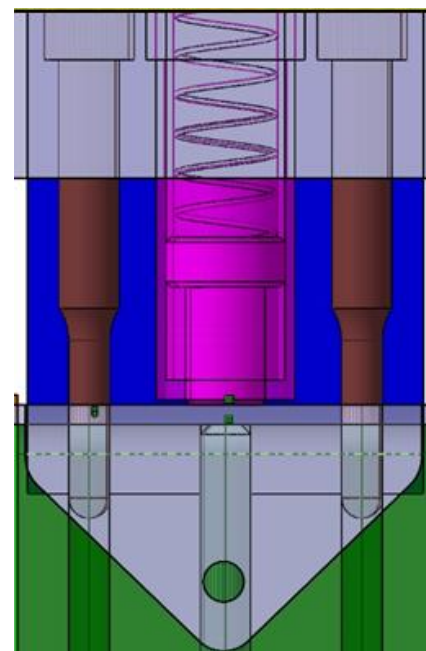


Obr. 63 Navrhnutý nástroj

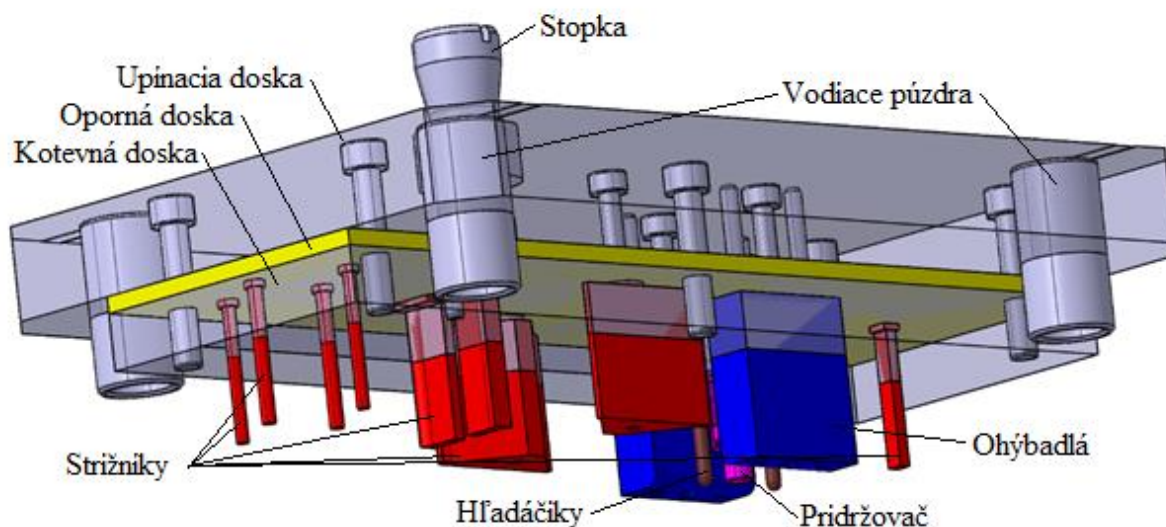


Obr. 64 Zobrazenie zavretého nástroja

Nástroj je konštruovaný z dvoch hlavných celkov. Prvý tvorí horná časť nástroja (obr. 66), ktorá pomocou stopky naskrutkovanej na upínacej doske prenáša tvárniacu silu na samotné funkčné časti nástroja. Pod touto doskou sa nachádza oporná a kotevná doska, ktoré sú voči základovej vycentrované pomocou dvoch kolíkov a pevne spojené šiestimi skrutkami s vnútorným šesťhranom. Základovou doskou prechádzajú zalísované vodiace púzdra, ktoré umožňujú pohyb horného celku na vodiacich stĺpikoch. Pre odvzdušnenie púzdiar sú na vrchnej strane upínacej dosky drážky hlboké 0,2 mm. Prvých šesť a posledný odstřihovalý strižník sú upnuté pomocou rozšírenia na konci. Dva najväčšie obrysové strižníky majú na čele valcový výstupok, ktorého tvar zodpovedá dutine v kotevnej doske, týmto je zabezpečené centrovanie tohto nástroja. Pevné upnutie zabezpečuje skrutka, ktorá prechádza stredom tohto výstupku. Dve ohýbadlá sú upnuté pomocou dvoch kolíkov a jednej skrutky, ktorá prechádza všetkými doskami hornej časti nástroja. Medzi ohýbadlami sa nachádzajú dva hľadáčky a jeden pružinový pridržiavač (obr. 65), ktoré majú rozšírenú valcovú hlavu, za ktorú sú upnuté. Hľadáčky sú kvôli zvýšeniu ich pevnosti konštruované ako spevnené, keďže ich funkčný priemer je iba 3,6 mm.



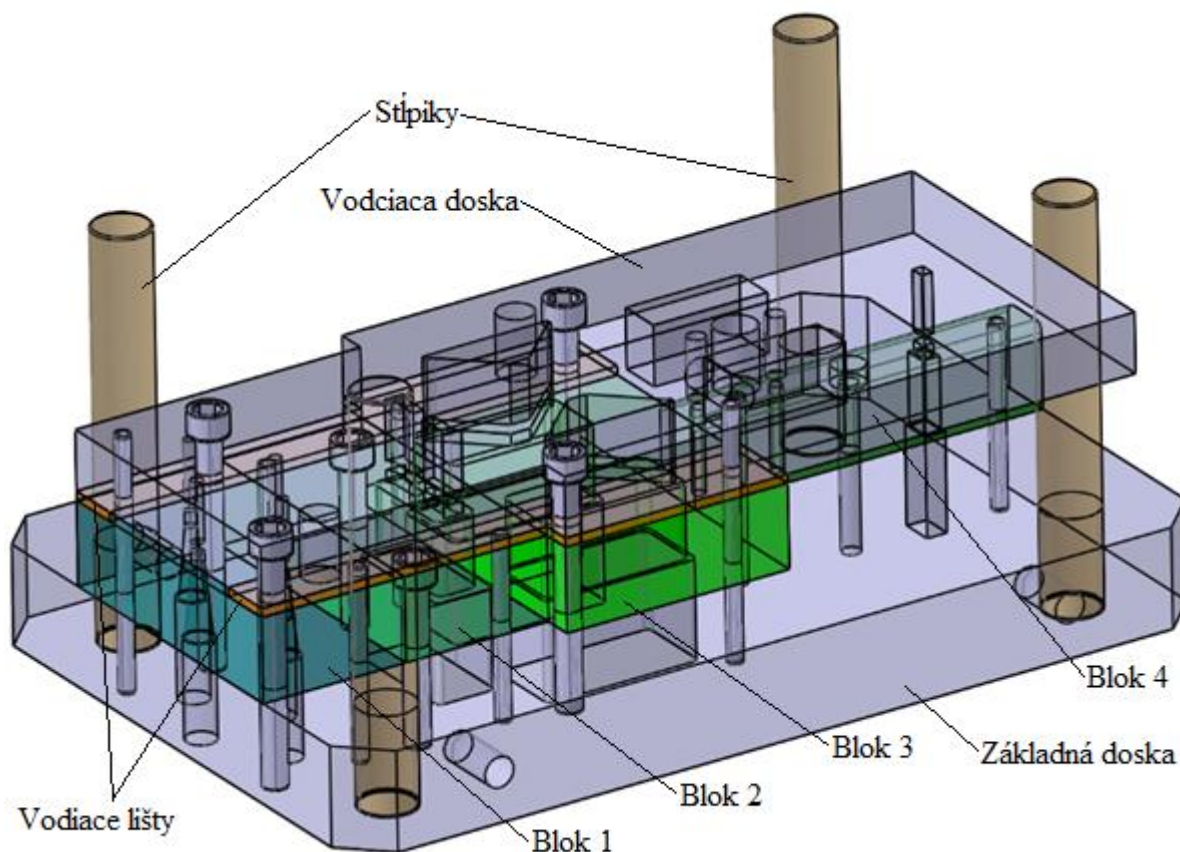
Obr. 65 Detail hľadáčikov a pridržiavača



Obr. 66 Horná časť nástroja

Najväčším dielom spodného celku (obr. 67) je základová doska, v ktorej sú zalísované vodiace stĺpiky a pomocou skrutiek a kolíkov aj matričné bloky, vodiace lišty a doska. V základnej doske sú z dolnej strany priechodzie otvory pre odvod odpadu a po bokoch štyri otvory na manipulačné oká. Z dôvodu jednoduchšej obnovy hrán strižníc sú strižnice rozdelené do štyroch blokov. Prvý matričný blok obsahuje strižnice s fazetkou a kuželovým rozšírením pre prvé štyri strižníky. V druhom bloku sú strižnice pre piaty a šiesty strižník. Tretí blok je oproti prvým dvom rozšírený z dôvodu veľkých rozmerov strižníc v nej umiestnených. Posledný blok má šírku ohybníka a na jeho začiatku sú dva otvory pre hľadáčky. Strižnica pre desiaty nástroj sa nachádza na konci ohybníka. Spojenie bloku a základovej dosky je pomocou jednej skrutky a dvoch kolíkov. Na prvých troch blokoch sú umiestnené vodiace lišty, ktoré

udržiavajú pás plechu v správnej polohe tak, aby nedochádzalo k jeho nežiadúcemu horizontálnemu pohybu. Po ohybe je diel vedený vďaka jeho tvaru po ohybníku. Pevná vodiaca doska, ktorá je umiestnená na lištách, zabráňuje vybočeniu strižníkov, ohybníkov a hľadáčikov z ich dráhy. Na jej hornej strane sa nachádzajú otvory so závitmi, ktoré slúžia k naskrutkovaniu prepravných dorazov, ktoré zabezpečia, že pri preprave nástroja nedôjde k úplnému zavretiu nástroja a teda poškodeniu funkčných častí.



Obr. 67 Dolná časť nástroja

Zovretie lisu je najmenšia vzdialenosť upínacieho stola a upínacej plochy barana, kedy je baran v dolnej úvrati a s nastavením maximálneho zdvihu tak, že prestavenie barana je nulové. Pri výstredníkových lisoch je možné nastaviť menší zdvih ako je maximálny, a preto je dôležité vypočítať výsledné zovretie lisu Z_l :

$$Z_l = H_D + \frac{z_m - z_p}{2} - t - p_b = 500 + \frac{160 - 13}{2} - 50 - 100 = 423,5 \text{ mm} \quad (3.21)$$

kde: H_D – zovretie z dokumentácie lisu [mm]

z_m – maximálny zdvih barana [mm]

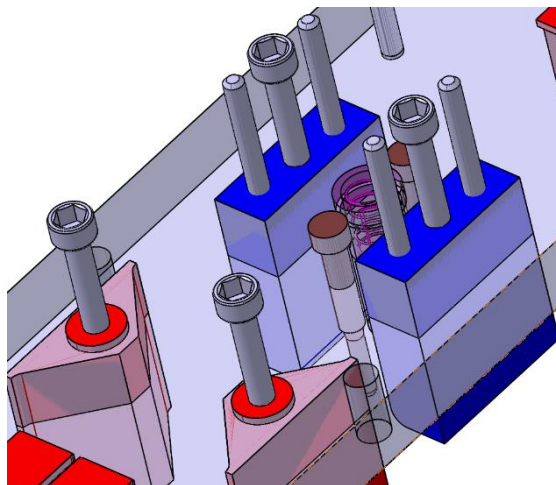
z_p – pracovný zdvih barana [mm]

t – hrúbka stolnej dosky [mm]

p_b – veľkosť prestavenia barana [mm]

Keďže je výška nástroja nižšia, ako vypočítaná hodnota, je nutné podložiť nástroj univerzálnymi upínacími kockami.

Skladanie nástroja z jednotlivých častí začína zalisovaním štyroch stĺpikov do základovej dosky. Ďalej sú do základnej dosky upevnené kolíky, a na nej uložené všetky štyri bloky. Druhý blok je upevnený dvoma skrutkami a posledný jednou. Na prvé tri bloky sú uložené vodiace lišty a doska, ktoré sú pevne stiahnuté skrutkami. Skladanie hornej časti nástroja prebieha na dvoch oporách, ktoré podopierajú kotevnú dosku. Do tejto dosky sú vložené strediace kolíky, hľadáčky, predzostavený pružinový pridržovač a strižníky s rozšírenou hlavou. Ďalej sú na pripravené kolíky ukladané ďalšie dosky, teda oporná a upínacia, ktoré sa upevnia šiestimi skrutkami skrz všetky dosky. Ohýbadlá a obrysové strižníky sú pomocou kolíkov a skrutiek pripevnené k celku. Do pripravených otvorov sú po okrajoch zalisované štyri vodiace púzdra a na upínaciu dosku uložená stopka. Takto pripravená horná časť nástroja je uložená na vodiace stĺpiky. Nástroj je upnutý pomocou úpiniek a stopky do tvárniaceho stroja.



Obr. 68 Detail uloženia obrysových strižníkov a ohýbadiel

4 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Ekonomické zhodnotenie určuje celkové náklady na zhotovenie jedného dielu a zároveň stanovuje bod zvratu, čo je množstvo vyrobených dielov, pri ktorých sa výroba stáva ziskovou. Držiak nábytkového kolieska sa bude vyrábať v ročnej sérii 300 000 kusov. Náklady na strojné vybavenie (lis, odvíjačka, rovnačka, podávač) nie sú zahrnuté, keďže sa predpokladá, že sú už súčasťou výrobného závodu. Životnosť nástroja sa obyčajne vyjadruje v počtoch zdvihov, ktoré stroj vykoná. Štandardne sa od postupových nástrojov očakáva životnosť aspoň 1 000 000 zdvihov, čo pri ročnej sérii 300 000 kusov predstavuje životnosť tri roky a štyri mesiace. Vstupné hodnoty pre ďalšie výpočty sú uvedené v tabuľke 12.

Tab. 13 Vstupné hodnoty

Jednotkové mzdy J_M	100 %
Výrobná réžia V_R	430 %
Správna réžia S_R	130 %
Ostatné priame náklady OPN	25 %
Výrobná séria Q	300 000 ks/rok
Životnosť nástroja T_n	3,33 roka

- Priame náklady - pod pojmom priame náklady chápeme tie náklady, ktoré je možné priradiť konkrétnemu nákladovému objektu, teda v tomto prípade výrobe držiaku.
 - Náklady na materiál - z jedného zvitku je možné vyrobiť 11 842 dielov. Cena materiálu 11 321 v zvitkoch C_z je uvažovaná 75 Kč/kg s DPH a výkupná cena odpadu C_o je 4 Kč/kg. Objem jedného dielu V_d je určený pomocou programu AutoCAD a jeho hodnota je 3596,97 mm³.

Celkový počet potrebných zvitkov:

$$n_z = 26 \text{ ks}$$

Hmotnosť jedného zvitku:

$$m_z = 520,83 \text{ kg}$$

Celková hmotnosť všetkých zvitkov:

$$m_{zc} = n_z \cdot m_z = 26 \cdot 520,83 = 13\,541,58 \text{ kg} \quad (4.1)$$

Hmotnosť jedného dielu:

$$m_d = V_d \cdot \rho_{\text{ocel}} = 3596,97 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,028 \text{ kg} \quad (4.2)$$

Celková hmotnosť všetkých dielov:

$$m_{dc} = m_d \cdot Q = 0,028 \cdot 300\,000 = 8\,400 \text{ kg} \quad (4.3)$$

Celková hmotnosť odpadu:

$$m_{oc} = m_{zc} - m_{dc} = 13\,541,58 - 8\,400 = 5\,141,58 \text{ kg} \quad (4.4)$$

Celkové náklady na zvitky:

$$N_{zc} = m_{zc} \cdot C_z = 13\,541,58 \cdot 75 = 1\,015\,618,5 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

Cena zhodnotenia odpadu:

$$N_o = m_{oc} \cdot C_o = 5\,141,58 \cdot 4 = 20\,566,32 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

Celkové náklady na materiál:

$$N_{mc} = N_{zc} - N_o = 1\,015\,618,5 - 20\,566,32 = 995\,052,18 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

Materiálové náklady na jeden diel:

$$N_d = \frac{N_{zc}}{Q} = \frac{1\,015\,618,5}{300\,000} = 3,39 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

- Mzdové náklady - náklady na mzdy sú uvažované na jedného pracovníka, ktorý bude mať na starosti výrobnú linku a bude ju obsluhovať. Pracovná doba je 8 hodín, pričom sa skladá z výrobného, kontrolného a údržbového času. Pomer týchto časov ukazuje tabuľka 14. Mzdové náklady na jednu hodinu práce sú uvažované ako $M = 120 \text{ Kč}$.

Tab. 14 Rozdelenie pracovnej doby

Výrobný čas t_v	Kontrolný čas t_k	Čas na údržbu t_u
7 hod.	0,5 hod.	0,5 hod.

Počet zdvihov stroja za minútu:

$$n_{zdvih} = 60 \text{ min}^{-1}$$

Počet dielov vyrobených za hodinu:

$$n_{dh} = n_{zdvih} \cdot 60 = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ ks} \quad (4.9)$$

Počet dielov vyrobených za zmenu:

$$n_{dz} = n_{dh} \cdot t_v = 3600 \cdot 7 = 25\,200 \text{ ks} \quad (4.10)$$

Počet zmien potrebný k zhotoveniu celej série:

$$n_{zmien} = \frac{Q}{n_{dz}} = \frac{300\,000}{25\,200} = 11,9 \quad (4.11)$$

Na výrobu zadanej série je teda nutných 12 pracovných zmien.

Počet hodín k výrobe výrobnej série:

$$n_h = (t_v + t_k + t_u) \cdot n_{zmien} = (7 + 0,5 + 0,5) \cdot 12 = 96 \text{ hod.} \quad (4.12)$$

Priame náklady na mzdu:

$$N_{pm} = n_h \cdot M = 96 \cdot 120 = 11\,520 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

- Ďalšie priame náklady – do tejto časti patria náklady na sociálne a zdravotné poistenie, ktoré hradí zamestnancovi zamestnávateľ. Výška sociálneho poistenia je 25 % a zdravotného 9 %.

Ďalšie priame náklady:

$$N_{pd'} = N_{pm} \cdot (0,25 + 0,09) = 11\,520 \cdot (0,25 + 0,09) = 3\,916,8 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

Celkové priame náklady na mzdu:

$$N_{pc} = N_{pm} + N_{pd'} = 11\,520 + 3\,916,8 = 15\,436,8 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Mzdové náklady na jeden diel:

$$N_{dc} = \frac{N_{pc}}{Q} = \frac{15\,436,8}{300\,000} = 0,05 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

- Náklady na energie - sú závislé na celkovom príkone všetkých inštalovaných strojov, teda lisu, odvíjačky, rovnačky a podávača, pričom ich príkony sú uvedené v tabuľke 14. Príkony posledných troch menovaných strojov sú určené z prílohy 3, kde je zlúčená funkcia rovnacieho a podávacieho zariadenia do jedného stroja. Uvažovaná cena C_{kWh} jednej kWh je 2,5 Kč.

Tab. 15 Príkony strojov

Lis S 160 E	Odvíjačka AOZ 08	Rovnačka a podávač RAL 250
$P_S = 15 \text{ kW}$	$P_O = 3 \text{ kW}$	$P_{PR} = 7,5 \text{ kW}$

Celkový príkon všetkých strojov:

$$P_c = P_S + P_O + P_{PR} = 15 + 3 + 7,5 = 25,5 \text{ kW} \quad (4.17)$$

Celková spotrebovaná energia:

$$E_c = P_c \cdot n_h = 25,5 \cdot 96 = 2\,448 \text{ kWh} \quad (4.18)$$

Celkové náklady na energiu:

$$N_{CE} = E_c \cdot C_{kWh} = 2\,448 \cdot 2,5 = 6\,120 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

- Nepriame náklady - pod pojmom priame náklady sú chápané tie náklady, ktoré nie je možné priradiť konkrétnemu nákladovému objektu. Patria sem náklady na správnú a výrobnú réžiu a náklady na zhotovenie nástroja.

Náklady na správnú réžiu:

$$N_{SR} = S_R \cdot N_{pc} = 1,3 \cdot 15\,436,8 = 20\,067,84 \text{ Kč} \quad (4.20)$$

Náklady na výrobnú réžiu:

$$N_{VR} = V_R \cdot N_{pc} = 4,3 \cdot 15\,436,8 = 66\,378,24 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

Náklady na výrobu nástroja – náklady na nástroj sú odhadnuté nástrojárnou na 150 000 Kč:

$$N_N = 150\,000 \text{ Kč} \quad (4.22)$$

- Celkové náklady, zisk a cena dielu - celkové náklady vychádzajú zo súčtu všetkých vyššie určených nákladov. Pri určení zisku je uvažovaná zisková prirážka 80 %.

Celkové náklady:

$$N_c = N_{mc} + N_{pm} + N_{CE} + N_{SR} + N_{VR} + N_N = 995\,052,18 + 11\,520 + 6\,120 + 20\,067,84 + 66\,378,24 + 150\,000 = 1\,249\,138,26 \text{ Kč} \quad (4.23)$$

Celkové náklady na jeden diel pri sérii 300 000 kusov:

$$N_{cd} = \frac{N_c}{Q} = \frac{1\,249\,138,26}{300\,000} = 4,16 \text{ Kč} \quad (4.24)$$

Cena dielu:

$$C_d = 1,8 \cdot N_{cd} = 1,8 \cdot 4,16 = 7,49 \text{ Kč} \quad (4.25)$$

Celkové tržby:

$$T_c = 1,8 \cdot N_c = 1,8 \cdot 1\,249\,138,26 = 2\,248\,448,87 \text{ Kč} \quad (4.26)$$

Celkový zisk:

$$Z_c = T_c - N_c = 2\,248\,448,87 - 1\,249\,138,26 = 999\,310,61 \text{ Kč} \quad (4.27)$$

- Bod zvratu - vyjadruje objem výroby, pri ktorom sa náklady na výrobu rovnajú tržbám, teda zisk je nulový.

Fixné náklady:

$$\begin{aligned} N_F &= N_{SR} + N_{VR} + N_N = \\ &= 20\,067,84 + 66\,378,24 + 150\,000 = 236\,446,08 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.28)$$

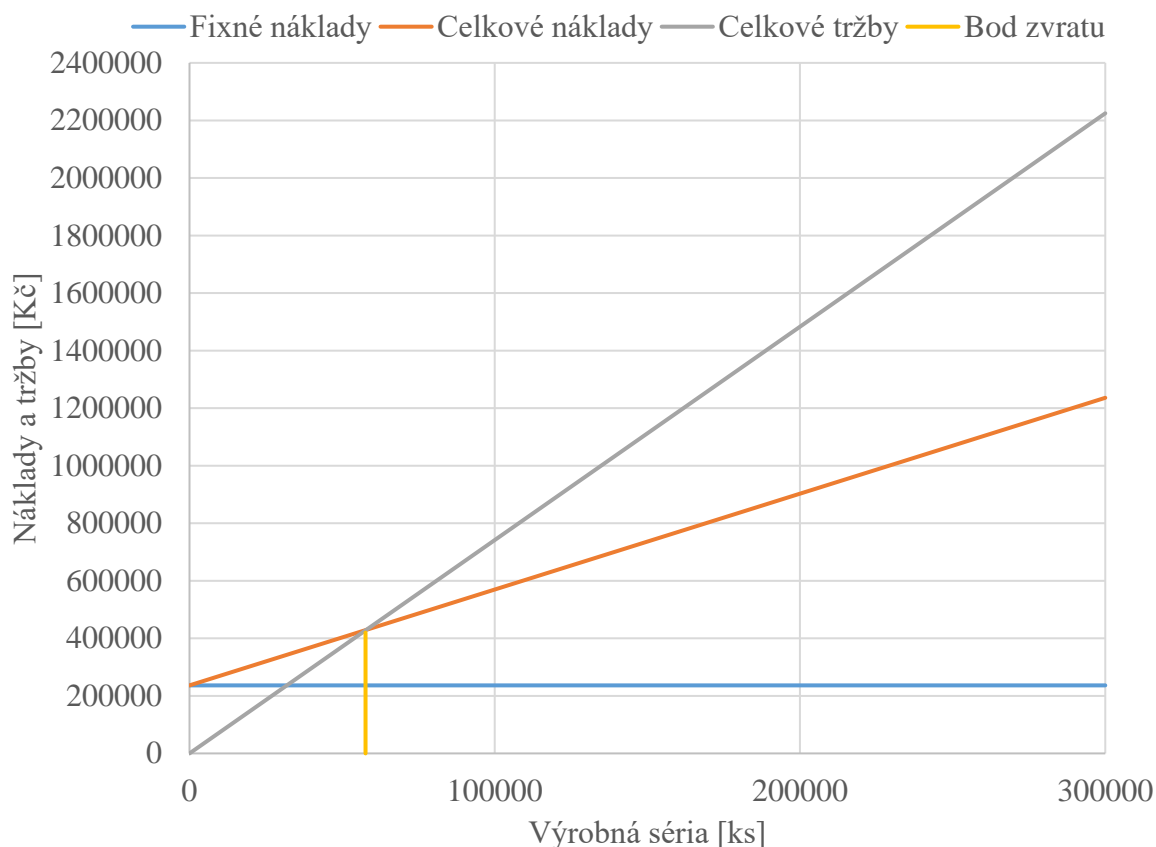
Variabilné náklady:

$$N_V = N_d + N_{dc} = 3,39 + 0,05 = 3,44 \text{ Kč} \quad (4.29)$$

Bod zvratu:

$$BZ = \frac{N_F}{C_d - N_V} = \frac{236\,446,08}{7,49 - 3,44} = 58\,382 \text{ ks} \quad (4.30)$$

Obrázok 69 znázorňuje vypočítané hodnoty pre tržby a náklady spolu s vyznačeným bodom zvratu, ktorý nastane po 58 382 vyrobených držiakoch. Z toho plynie, že zvolená technológia výroby je z ekonomického hľadiska efektívna a celkový ročný zisk predstavuje 999 310,61 Kč. Táto hodnota je ale len orientačná, keďže niektoré veličiny ako napríklad správna a výrobná réžia spolu s cenou nástroja sú určené orientačne.



Obr. 69 Bod zvratu

5 ZÁVERY

Cieľom práce bolo navrhnutie technologického spôsobu výroby držiaka nábytkového kolieska, určeného napríklad pre posteľné zásuvky pri sériovosti 300 000 ks za rok. Diel vyrobený z materiálu ČSN 11 321 je dlhý 40 mm, široký 22 mm a vysoký 25 mm s hrúbkou steny 2 mm. Z viacerých možností výroby bola zvolená výroba pomocou postupového združeného nástroja s ohľadom na parametre dielu a požadovanú sériovosť.

Po zhodnotení technologickosti dielu bolo nutné upraviť jeho geometriu, a teda posunúť otvory od okraja a ohybu do vzdialenosti 4 mm. Pri voľbe typu polotovaru a usporiadania uloženia výstrižkov na plech boli zohľadnené predpokladané konštrukčné problémy a využiteľnosť materiálu tak, aby bol dosiahnutý stav optimálny. Ako najvhodnejšie riešenie sa ukázalo využitie pásu plechu šírky 64,1 mm zo zvitku, na ktorom sú výstrižky umiestnené pozdĺžne.

Následne boli stanovené potrebné tvárniace sily a práce pre jednotlivé operácie a z nich vypočítaná celková potrebná sila o hodnote 182,5 kN a práca 243 J. Funkčné časti nástroja boli skontrolované voči kritickým stavom a na základe požadovanej presnosti dielu určené ich rozmery. Na základe výpočtov bola stanovená poloha upínacej stopky a potrebný tvárniaci stroj, konkrétne výstredníkový lis Šmeral S 160 E o menovitej sile 1 600 kN.

Navrhnutý nástroj pracuje v šiestich krokoch a nachádza sa v ňom deväť strižných a jedna ohýbacia časť. Pre zjednodušenie prípadných opráv sú strižnice rozdelené do štyroch blokov. Ako ochrana pred nežiadúcim pohybom plechu slúžia vodiace lišty, hľadáčky a pružinový doraz.

Ekonomické zhodnotenie výroby určilo všetky náklady a zisky spojené s výrobou držiaka. Náklady na jeden diel predstavujú 4,16 Kč a pri marži 80% je výsledná predajná cena dielu 7,49 Kč, čo pri zadanej výrobnej sérii predstavuje ročný zisk 999 310,61 Kč. Bod zvratu nastáva po vyrobení 58 382 kusov držiaka a výroba sa stáva zisková.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [47]

1. MORAVČÍK, Juraj. Výroba součástí vysekávaním. Brno, 2016. 37s, CD. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedúci práce doc. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-802-1434-257.
4. Závěs. *Praktis* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.praktis.cz/k/zaves-ostatni-1162.html>
5. DS-1276ZJ. *Norbain* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://norbain.com/products/ds-1276zj>
6. Hranatý odkvapový žlab. *OBI* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.ob.sk/pozinkovane-odkvapove-sytemy/hranaty-odkvapovy-zlab-rg-75-prirodny-hlinik-2-m/p/1094127>
7. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-807-2048-397.
8. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-808-6960-203.
9. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-720-4283-1.
10. *Galvanizing Process* [online]. American Galvanizers Association, 2017 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://galvanizeit.org/inspection-course/galvanizing-process>
11. ČSN 41 1321: Ocel' 11 321. Praha: Český normalizační institut, 1987.
12. Postel Pinto 140. *Sconto nábytek* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.sconto.cz/produkty/postel-pinto-140.html?utm_source=8024572&utm_campaign=CJ_4703737&utm_medium=affiliate&utm_content=Redirect+Link+%2F+Deeplink
13. The foundry. *Covenantanglican* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.covenantanglican.org/what-we-do/>
14. Punching machines. *Trumpf* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_SG/products/machines-systems/punching-machines/
15. Different Types of Arc Welding. *Weldingschool* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.weldingschool.com/blog/welding/different-types-of-arc-welding/>
16. Laser cutting of metal. *Riko Ribnica* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.rikoribnica.com/en/produkt/laser-cutting-2/>
17. Press break tools. *WILA USA* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.wilausa.com/>
18. Technologie plošného tváření: Ohýbání. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm

19. Strižný nástroj. *Mikov Skalica* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.mikovskalica.sk/sluzby-a-vyroby/>
20. Združený nástroj. *Tomac* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.tomac.sk/index.php?page=nastrojaren&lng=en>
21. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
22. Operácie strihania: rozdelenie a princíp. *Strojárska technológia* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.strojarskatechnologia.info/14-operacie-strihania-rozdelenie-a-princip/>
23. CÍSAŘOVÁ, Michaela. *Technologie tváření: Plošné tváření*. Brno, 2015.
24. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010. Dostupné tiež z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
25. Technologie plošného tváření: Stříhání. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
26. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.
27. BOBČÍK, Ladislav. Strižné nástroje pro malosériovou výrobu. Vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983. 213 s.
28. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978 0 521-88121-0.
29. Interné materiály. Canmet s.r.o. Bratislava, 2018.
30. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akademie tváření: Odpružení v plošném tváření. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 11.05.2011, 2011(5) [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html>
31. Uholník s prelisom. *CECHOTEX* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.cechotex.sk/p/5904/kp-4-uholnik-s-prelisom-75-75-55mm-4024>
32. ČSN 22 7340. *Ohýbadla: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. 1990. vyd.
33. KUČERA Jiří: Technologie výroby krytu brzdového kotouče tvářením. Brno, 2015. 83 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
34. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
35. HÁJEK, Pavel. Výroba kotevního prvku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
36. Klikové lisy. *ŠMERAL* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/klikove_lisy.html

37. Hydraulic open-fronted and double sided presses. *Zeulenroda* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.raster-zeulenroda.de/en/products/hydraulic-open-fronted-and-double-sided-presses.html>
38. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 19.12.2011, , 66 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
39. Ocel': Ocel'ové plechy a pásy valcované za studena. *Alfun* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/sk/ocel>
40. Střížníky, matrice. *Blohm* [online]. Otrokovice, 2010 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://blohm.cz/download/Strizne-a-tvareci-nastroje.pdf>
41. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, 11.04.2012, (4), 84 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
42. Šmeral. Výstředníkové lisy se značkou Šmeral Brno. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, 05.03.2011, 2011(3), 54 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vystrednikove-lisy-se-znackou-smeral-brno.html>
43. Výstředníkové Lisy. *Šmeral* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/vystrednikove_lisy.html
44. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
45. Stojánky. *Blohm* [online]. Otrokovice, 2010 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://blohm.cz/download/Stojanky-litinove-ocelove-hlinikove.pdf>
46. Vodíci sloupky, pouzdra. *Blohm* [online]. Otrokovice, 2010 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://blohm.cz/download/Vodici-sloupky-pouzdra-kulickove-vedeni.pdf>
47. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2018 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
48. ČSN 22 6015. Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci. Praha: ÚNM, 1975. 28 s. N 16 198
49. Linky na rovnání pásů ze svitků. *Attl a spol. s.r.o.: Továrna na stroje* [online]. [cit. 2018-08-4]. Dostupné z: http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani-pasu.pdf

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZNAČIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
A	Strižná práca	[J]
a	Rozmer strižníku rovnobežný so smerom straty stability	[mm]
A _{oU}	Ohýbacia práca pri ohybe do tvaru U	[N]
b	Šírka plechu	[mm]
b	Rozmer strižníku kolmý na smerom straty stability	[mm]
BZ	Bod zvratu	[ks]
c	Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv anizotropie a a spevnenia	[-]
C _d	Cena dielu	[Kč]
c _o	Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv trenia dielu o ohybnicu	[-]
C _o	Cena odpadu	[Kč]
c _s	Súčiniteľ strižnej vôle	[-]
C _z	Cena materiálu	[Kč]
D	Priemer strižníku	[mm]
D	Menovitý rozmer dielu	[mm]
d	Menovitý rozmer dierovaného otvoru	[mm]
d _k	Menovitý rozmer strižníku pri vystrihovaní	[mm]
d _{kd}	Menovitý rozmer strižníku pri dierovaní	[mm]
D _s	Menovitý rozmer stržnice pri vystrihovaní	[mm]
D _{sd}	Menovitý rozmer strižnice pri dierovaní	[mm]
e	Mostík	[mm]
E	Modul pružnosti v ťahu	[MPa]
E _c	Celková spotrebovaná energia	[kWh]
f	Vzdialenosť medzi okrajom plechu a dielu	[mm]
F _{oU}	Ohýbacia sila pri ohybe do tvaru U	[N]
F _{oUmax}	Maximálna ohybová sila	[N]
F _s	Strižná sila	[N]
F _{smax}	Maximálna strižná sila	[N]
f _t	Súčiniteľ trenia	[-]
F _x	Celková sila v smere osy X	[N]
F _y	Celková sila v smere osy Y	[N]
h	Hĺbka ponorenia ohybníku	[mm]
H	Výška strižnice	[mm]
h _{el}	Hĺbka ponorenia strižníku pri elastickej deformácii	[mm]
h _{pl}	Hĺbka ponorenia strižníku pri plastickej deformácii	[mm]
h _s	Hĺbka vniku razníku pri strihu	[mm]
I _d	Moment zotrvačnosti kruhového prierezu strižníku	[mm ⁴]
I _o	Moment zotrvačnosti kruhového prierezu strižníku	[mm ⁴]
k	Dĺžka kroku	[mm]
k _{mat}	Súčiniteľ využitia materiálu	[mm]
k _u	Súčiniteľ určujúci polohu neutrálnej osy	[-]
l	Dĺžka dielu	[mm]
l ₀	Dĺžka neutrálnej osy	[mm]
l ₂	Dĺžka vonkajšej časti polotovaru	[mm]
l _k	Kritická dĺžka strižníku	[mm]
l _o	Dĺžka ohnutého úseku	[mm]
l _r	Dĺžka rovného úseku	[mm]
L _{tp}	Dĺžka polotovaru	[mm]

Označenie	Legenda	Jednotka
l_u	Vzdialenosť medzi opernými bodmi ohybnice v tvare U	[mm]
m	Súčiniteľ zaplnenia diagramu pri výpočte ohýbacej práce	[-]
m_d	Hmotnosť jedného dielu	[kg]
m_{dc}	Celková hmotnosť všetkých dielov	[kg]
m_{oc}	Celková hmotnosť odpadu	[kg]
m_z	Hmotnosť jedného zvitku	[kg]
m_{zc}	Celková hmotnosť všetkých zvitkov	[kg]
n	Súčiniteľ otupenia	[-]
N_C	Celkové náklady	[Kč]
N_{CE}	Celkové náklady na energiu	[Kč]
N_d	Materiálové náklady na jeden diel	[Kč]
N_{dc}	Mzdové náklady na jeden diel	[Kč]
N_{dc}	Celkové náklady na jeden diel pri zadanej sérii	[Kč]
n_{dh}	Počet dielov vyrobených za hodinu	[ks]
n_{dieluc}	Celkový počet dielov vyrobených z jedného polotovaru	[-]
N_F	Fixné náklady	[Kč]
n_h	Počet hodín k výrobe výrobnej série	[hod.]
N_{mc}	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N_N	Náklady na výrobu nástroja	[Kč]
N_o	Cena zhodnotenia odpadu	[Kč]
N_{pc}	Celkové priame náklady na mzdu	[Kč]
$N_{pd'}$	Ďalšie priame náklady	[Kč]
N_{pp}	Priame náklady na mzdu	[Kč]
N_{SR}	Náklady na správnu réžiu	[Kč]
N_V	Variabilné náklady	[Kč]
N_{VR}	Náklady na výrobnú réžiu	[Kč]
n_z	Celkový počet potrebných zvitkov	[Ks]
N_{zc}	Celkové náklady na zvitky	[Kč]
n_{zdvih}	Počet zdvihov stroja za minútu	[min ⁻¹]
n_{zmien}	Počet zmien potrebných k zhotoveniu celej série	[-]
O	Dĺžka krivky strihu	[mm]
P_C	Celkový príkon	[kW]
P_k	Výrobná tolerancia strižníka	[mm]
P_O	Príkon odvíjačky	[kW]
P_{PR}	Príkon rovnačky a podávača	[kW]
P_s	Výrobné tolerance strižnice	[mm]
P_S	Príkon lisu	[kW]
P_u	Dovolená úchylka dielu	[mm]
R	Polomer dielu	[mm]
R_1	Polomer ohybu	[mm]
R_2	Polomer vonkajšej časti polotovaru	[mm]
R_m	Medza pevnosti	[MPa]
R_m	Polomer ohybnice	[mm]
R_{max}	Maximálny polomer ohybu	[mm]
R_{min}	Minimálny polomer ohybu	[mm]
s	Hrúbka polotovaru	[mm]
S_{diel}	Plocha vyrábaného dielu bez otvorov	[mm ²]
S_{max}	Maximálna hrúbka polotovaru	[mm]
\bar{s}	Šírka dielu	[mm]

Označenie	Legenda	Jednotka
\bar{S}_p	Šírka polotovaru	[mm]
T_c	Celkové tržby	[Kč]
v	Strižná vôľa	[mm]
V_d	Objem jedného dielu	[mm ³]
v_o	Ohýbacia vôľa	[mm]
x	Veľkosť posunutia neutrálnej osy	[mm]
X	Poloha ťažiska síl v smere osy X	[mm]
x_i	Vzdialenosť pôsobísk jednotlivých síl v smere osy X	[mm]
Y	Poloha ťažiska síl v smere osy Y	[mm]
y_i	Vzdialenosť pôsobísk jednotlivých síl v smere osy Y	[mm]
z	Strižná medzera	[mm]
Z_c	Celkový zisk	[Kč]

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	Pomerné deformácie	[-]
ε_{tmax}	Maximálna trvalá plastická deformácia	[-]
α	Uhol ohybu	[°]
β_U	Uhol odpruženia pri ohybe do tvaru U	[°]
γ	Uhol ohnutého úseku	[°]
$\Delta\alpha$	Uhol podbrúsenia ohybníku	[°]
λ	Šúčiniteľ zaplnenia diagramu	[-]
μ	Šúčiniteľ bezpečnosti	[-]
ρ	Polomer neutrálnej osy	[mm]
σ_1	Hlavné ťahové napätie	[MPa]
σ_3	Hlavné tlakové napätie	[MPa]
σ_k, Re	Medza klzu	[MPa]
σ_n	Prídavné ťahové napätie	[MPa]
σ_o	Napätie otláčenia	[MPa]
τ_s	Strižný odpor	[mm]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Príklady dielov vyrábaných plošným tvárnením za studena	9
Obr. 2 Príklad použitia nábytkového kolieska	10
Obr. 3 Držiak nábytkového kolieska	10
Obr. 4 Príklad odlievania do pevnej formy	11
Obr. 5 Vysekávanie a oblúkové zváranie	12
Obr. 6 Laserové rezanie a ohraňovanie	12
Obr. 7 Ohýbaci a strižný nástroj	12
Obr. 8 Postupový združený nástroj	13
Obr. 9 Ťahový diagram s nevýraznou medzou klzu	13
Obr. 10 Schéma dierovania	13
Obr. 11 Jednotlivé fázy strihu	14
Obr. 12 Schéma napätosti a deformácie pri bežnom uzavretom strihu	15
Obr. 13 Strižná plocha a jej oblasti	15
Obr. 14 Vznik trhlín pri správne a nesprávne zvolenej strižnej vóli	16
Obr. 15 Nástrihový plán	17
Obr. 16 Uloženia výstrižkov	17
Obr. 17 Technologické a konštrukčné odpady	18
Obr. 18 Schéma ohybu	19
Obr. 19 Schéma napätosti a deformácii pri ohybe širokých pásov	19
Obr. 20 Rozloženie napätí na priereze ohýbaného materiálu	20
Obr. 21 Určenie dĺžky rozvinutého dielu	20
Obr. 22 Deformačné schéma ohybu	21
Obr. 23 Schéma odpruženia pri ohybe	22
Obr. 24 Schéma k výpočtu veľkosti odpruženia pri U ohybe	22
Obr. 25 Možnosti úprav nástroja pre odstránenie odpruženia pri ohybe	22
Obr. 26 Prelisované rebrá	23
Obr. 27 Priebeh strižnej sily v závislosti na polohe strižníka	23
Obr. 28 Graf určujúci hodnotu súčiniteľa zaplnenia	24
Obr. 29 Priebeh ohýbacej sily pri ohybe do U v závislosti na polohe ohybníku	24
Obr. 30 Určenie polohy ťažiska síl pomocou výpočtu	25
Obr. 31 Určenie polohy ťažiska pôsobiacich síl pomocou grafického určenia	26
Obr. 32 Postupový združený nástroj	27
Obr. 33 Schéma vzperu	28
Obr. 34 Možnosti upnutia stržníkov	28
Obr. 35 Skladaná a vložkovaná strižnica	29
Obr. 36 Strižnica kužeľová a kužeľová s fazetkou	29
Obr. 37 Vložkovaný ohýbaci nástroj	30
Obr. 38 Schéma kl'ukového lisu a jeho priebehu síl	31
Obr. 39 Schéma hydraulického lisu a jeho priebehu síl	32
Obr. 40 Vzdialenosť otvorov od kraja polotovaru a iných otvorov	33
Obr. 41 Správne a nesprávne zvolená osa ohybu voči smeru vlákien	34
Obr. 42 Odporúčaná vzdialenosť otvorov a dĺžok ramien od ohybu	34
Obr. 43 Upravené rozmery držiaku spolu s kolieskom	35
Obr. 44 Navrhnuté polomery	35
Obr. 45 Schéma výpočtu dĺžky rozvinu	36
Obr. 46 Rozvinutý tvar držiaku	36
Obr. 47 Priečne usporiadanie	37
Obr. 48 Šikmé usporiadanie	37

Obr. 49	Pozdĺžne usporiadanie	37
Obr. 50	Postup výroby – Možnosť 1	38
Obr. 51	Postup výroby – Možnosť 2	38
Obr. 52	Postup výroby – Možnosť 3	39
Obr. 53	Postup výroby – Možnosť 4	39
Obr. 54	3D model plechu	40
Obr. 55	Usporiadanie nástroja	42
Obr. 55	Určenie miesta ťažiska tvárniacich síl	47
Obr. 56	Prvý a druhý strižník	45
Obr. 57	Tretí a štvrtý strižník	46
Obr. 58	Piaty a šiesty strižník	46
Obr. 59	Siedmi a ôsmi strižník	47
Obr. 60	Desiaty strižník	48
Obr. 61	Určenie miesta ťažiska tvárniacich síl	49
Obr. 62	Výstredníkový lis Šmeral S 160 E	50
Obr. 63	Navrhnutý nástroj	51
Obr. 64	Zobrazenie zavretého nástroj	51
Obr. 65	Detail hľadáčikov a pridržovača	52
Obr. 66	Horná časť nástroja	52
Obr. 67	Dolná časť nástroja	53
Obr. 68	Detail uloženia obrysových strižníkov a ohýbadiel	54
Obr. 69	Bod zvratu	58

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Chemické zloženie a mechanické vlastnosti ocele 11 321	11
Tab. 2 Stanovenie rozmerov mostíkov a medzier na okraji polotovaru	17
Tab. 3 Závislosť súčiniteľa x v závislosti na pomere R_1/s	20
Tab. 4 Príklady materiálov používaných pri jednotlivých dieloch a technické normy	27
Tab. 5 Príklady materiálov používaných u strižníkov a strižníc a technické normy	30
Tab. 6 Hodnoty súčiniteľa vplyvu trenia	30
Tab. 7 Príklady materiálov používaných pri jednotlivých dieloch a technické normy	31
Tab. 8 Presnosť vzdialeností dierovaných otvorov	33
Tab. 9 Najmenšie odporúčané priemery dierovaných otvorov	33
Tab. 10 Hodnoty vzdialenosti otvorov od kraja polotovaru a iných otvorov	34
Tab. 11 Polohy jednotlivých pôsobísk tvárniacich síl	49
Tab. 12 Technická špecifikácia stroja Šmeral S 160 E	50
Tab. 13 Vstupné hodnoty	55
Tab. 14 Rozdelenie pracovnej doby	56
Tab. 15 Príkony strojov	57

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Voľba koeficientu c_s

Príloha 2 – Voľba koeficientu k_u

Príloha 3 – Základné technické parametre odvíjačky, rovnachy a podávača

ZOZNAM VÝKRESOV

DP18_FSI_DK

DP18_FSI_VZ

DP18_FSI_K1

DP18_FSI_K2

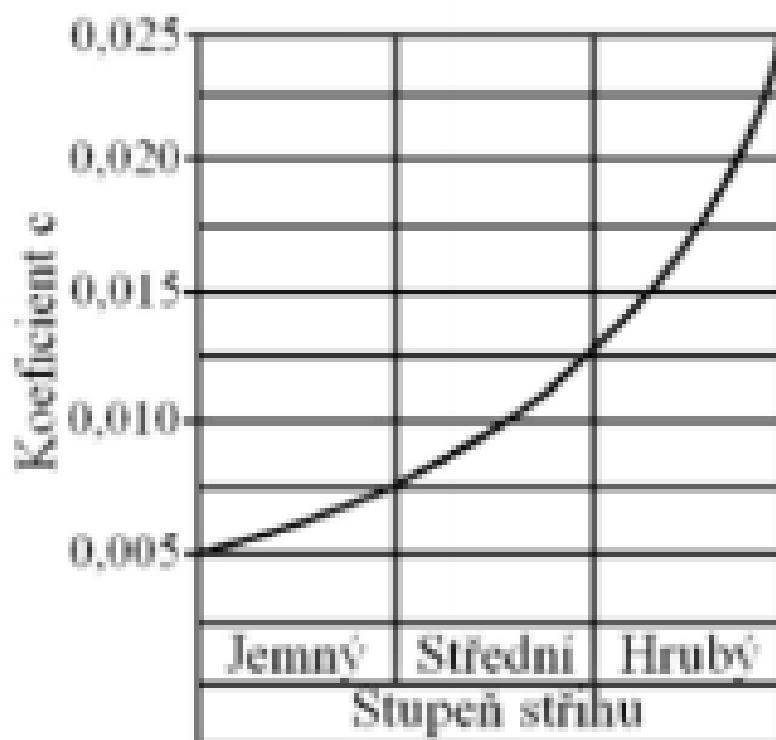
Výkres držiaku kolieska

Výkres zostavy nástroja

Výkres kusovníku 1

Výkres kusovníku 2

Príloha 1 – Voľba koeficientu c_s [48]



Príloha 2 – Voľba koeficientu k_u [32]

Materiál	Součinitel K pro	
	$\frac{r}{t} = 1$	$\frac{r}{t} = 10$
oceli vhodné pro tváření	0,99	0,97
korozivzdorné oceli	0,96	0,92
hliník Al 99,5 měkký	0,99	0,98
polotvrdý	0,98	0,93
hliník Al 99 měkký	0,99	0,98
polotvrdý	0,98	0,92
slitina AlMn měkká	0,99	0,97
polotvrdá	0,98	0,90
slitina AlMg2 měkká	0,985	0,96
polotvrdá	0,98	0,88
slitina AlMg3 měkká	0,985	0,94
polotvrdá	0,98	0,90
mosaz Ms 70, Ms 68	0,975	0,915

Príloha 3 – Základné technické parametre odvíjačky, rovnačky a podávača [49]

Stroj	Odvíjačka
Výrobca	Attl a spol.
Model	AOZ 08
adPríkon P _{OD}	3kW
max. rýchlosť pásu	160 m/min
Hhrúbka plechu	0,3 - 2 mm
Max. šírka pásky	250 mm
Vnútorný priemer zvitku	480 - 620 mm



Stroj	Podávačka a rovnačka
Výrobca	Attl a spol.
Model	RAL 250
Príkon P _{PR}	7,5 kW
max. rýchlosť pásu	40 m/min
Hhrúbka plechu	0,5 - 3 mm
Max. šírka pásky	100 mm
Priemer valcov	40 mm

